

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y
FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



PROPUESTA DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS
PARA UN SISTEMA INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN
PÚBLICA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

Tesis Presentada por los Bachilleres:

CHÁVEZ RIVERA, DEYVI ESTIVEN
MORALES CHARAJA, HERNÁN EDISON

Para optar por el título profesional de:

INGENIERO DE SISTEMAS

Asesora: **ING. KARINA ROSAS PAREDES**

AREQUIPA-PERÚ

2017

Presentación

Sr. Director de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

Sres. Miembros del Jurado

De conformidad con las disposiciones del reglamento de grados y títulos de la escuela profesional de Ingeniería de Sistemas, remitimos a vuestra consideración el estudio de investigación titulado **“PROPUESTA DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA UN SISTEMA INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN PÚBLICA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA”**, el mismo que de ser aprobado nos permitirá optar por el título profesional de Ingeniero de Sistemas.

Arequipa, octubre del 2017

Deyvi Estiven Chávez Rivera

Hernán Edison Morales Charaja

Agradecimiento

A Dios por guiarme por el buen camino y ayudarme a ser perseverante en las dificultades de la vida.

A nuestros padres y hermanos, por los consejos y el apoyo incondicional en los momentos difíciles, y la ayuda con los recursos para poder estudiar.

Y finalmente a todas aquellas personas que ayudaron y colaboraron para la culminación del presente proyecto.



Tabla de contenidos

Resumen	ix
Abstract	x
Introducción	xi
Capítulo I.....	1
Planteamiento Teórico	1
1.1. Título	1
1.2. Identificación del Problema	1
1.3. Descripción del Problema	2
1.4. Justificación	2
1.5. Objetivos	3
1.5.1. Objetivo General	3
1.5.2. Objetivos Específicos.....	3
1.6. Preguntas de Investigación	4
1.7. Alcances y Limitaciones	4
1.7.1. Alcances	4
1.7.2. Limitaciones	4
1.8. Área Científica	5
1.8.1. Área: Redes y Comunicaciones	5
1.8.2. Línea: Redes de Sensores Inalámbricos	5
1.9. Tipo de Investigación.....	5
1.9.1. Tipo: Cualitativa, Descriptiva.	5
Capitulo II.....	6
Marco Teórico.....	6
2.1 Estado de Arte	6
2.2 Iluminación Pública Inteligente.....	11
2.3 Oportunidades, riesgos y desafíos de la iluminación inteligente	12
2.3.1 Oportunidades de la iluminación inteligente	12
2.3.2 Riesgos de la iluminación inteligente	12
2.3.3 Desafíos de la iluminación inteligente.....	12

2.4	Experiencias internacionales de Iluminación Pública	12
2.4.1	Italia	12
2.4.2	País Vasco	13
2.4.3	Colombia	13
2.4.4	Argentina	14
2.4.	Iluminación pública en la Ciudad de Arequipa	15
2.4.1.	Iluminación Publica.....	15
2.4.2.	Renovaciones Recientes.....	16
2.4.3.	Problemas en la Actualidad	16
2.5.	Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)	18
2.5.1.	Características de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)	18
2.5.2.	Elementos de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)	20
2.5.3.	Tipos de nodos.....	21
2.5.4.	Tipos de Comunicación Inalámbrica.....	22
2.5.5.	Aplicaciones de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)	24
2.5.6.	Topologías de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)	29
2.5.7.	Sistemas Operativos en Redes de Sensores Inalámbricos (WSN).....	31
2.5.8.	Estándares de Comunicación de redes inalámbricas	34
2.5.9.	Protocolos Para las Redes de Sensores Inalámbricas.....	36
2.5.10.	Motas Comerciales.....	40
Capítulo III.....		44
Desarrollo de la Propuesta.....		44
3.1	Caso de estudio	44
3.1.1	Zona de Cobertura	45
3.1.2	Ubicación	46
3.1.3	Beneficiados.....	47
3.2	Descripción del modelo propuesto.....	47
3.3	Propuesta del sistema de iluminación inteligente	48
3.3.1	Distribución de los nodos	48
3.3.2	Criterio de Selección de la Tecnología de Comunicación	49
3.3.3	Elección de Motas y Sensores	51

3.3.4	Enrutador de Frontera y Plataforma de Administración.....	56
3.3.5	Sistema operativo para los nodos	57
3.3.6	Simulación de nuestra WSN	61
3.3.7	Estudio de viabilidad del proyecto	63
Capítulo IV		71
Pruebas y Validación.....		71
4.1	Evaluación de resultados.....	71
4.1.1	Ahorro energético y económico	71
4.1.2	Gestión	72
4.1.3	Escalabilidad	73
4.1.4	Disponibilidad	75
4.1.5	Fiabilidad del envío de paquetes	76
4.1.6	Resultado de Encuestas de Ahorro de Energía.....	78
Conclusiones.....		83
Recomendaciones.....		84
Referencias Bibliográficas		85
Anexo A: Encuestas para validar la propuesta		90
Anexo B: Glosario de Términos		92

Lista de tablas

Tabla 2. 1	Tipos del estándar Wi-Fi.....	34
Tabla 3. 1	Actividad Urbanística	45
Tabla 3. 2	Características de estándares de comunicación.....	49
Tabla 3. 3	Protocolos para las WSN	50
Tabla 3. 4	Cuadro comparativo de motas	51
Tabla 3. 5	Comparación de Sistemas Operativos	58
Tabla 3. 6	Equipos, bienes y servicios.....	64
Tabla 4. 1	Ahorro Energético y Económico	72



Lista de figuras

Figura 2. 1 Luces encendidas en pleno día	17
Figura 2. 2 Luminarias al cien por ciento	17
Figura 2. 3 Elementos de redes de sensores	20
Figura 2. 4 Partes de un Nodo	21
Figura 2. 5 Tipos de nodos	22
Figura 2. 6 Redes Inalámbricas con Infraestructura	22
Figura 2. 7 Redes Inalámbricas sin Infraestructura	23
Figura 2. 8 Aplicaciones ambientales.....	24
Figura 2. 9 Tracking.....	25
Figura 2. 10 Agricultura de precisión.....	25
Figura 2. 11 Domótica	26
Figura 2. 12 Aplicaciones militares	27
Figura 2. 13 Monitorización de instalaciones.....	28
Figura 2. 14 Aplicaciones militares	29
Figura 2. 15 Topología Estrella	30
Figura 2. 16 Topología Malla	30
Figura 2. 17 Topología árbol	31
Figura 2. 18 Modo de Enrutamiento de RPL.....	39
Figura 2. 19 Mota Waspnote	43
Figura 3. 1 Mapa de la Provincia de Arequipa.....	44
Figura 3. 2 Distrito de Mariano Melgar	46
Figura 3. 3 Zona de Estudio.....	47
Figura 3. 4 Distribución de los nodos.....	48
Figura 3. 5 Mota Re-Mote Zolertia.....	52
Figura 3. 6 Funcionamiento de los sensores	53
Figura 3. 7 Sensor de Luz ZIG 002	54
Figura 3. 8 Sensor de Movimiento MS-320LP	55
Figura 3. 9 Sensor de corriente.....	55
Figura 3. 10 Enrutador de frontera inRout	56
Figura 3. 11 Arquitectura de 6LBR.....	57
Figura 3. 12 Interfaz de administración 6LBR.....	57
Figura 3. 13 Interfaz de administración 6LBR.....	59
Figura 3. 14 Interfaz de ingreso a ContikiOS	59
Figura 3. 15 Comandos para compilar Cooja.....	60
Figura 3. 16 Interfaz para la simulación de WSN	60
Figura 3. 17 Simulación del Proyecto	61
Figura 3. 18 Inicio de Simulación.....	62
Figura 3. 19 Nodo Enrutados por el Enrutador de Frontera	62
Figura 3. 20 Datos de un Nodo	63
Figura 4. 1 Resultados de la Iluminación Inteligente.....	71
Figura 4. 2 Gestión de una WSN	73

Figura 4. 3 Resultados de escalabilidad.....	74
Figura 4. 4 Resultados de escalabilidad.....	74
Figura 4. 5 Resultados de Escalabilidad.....	75
Figura 4. 6 Resultados de disponibilidad	76
Figura 4. 7 Resultados de fiabilidad	77
Figura 4. 8 Resultados de fiabilidad	77
Figura 4. 9 Resultados de la Encuesta 1	78
Figura 4. 10 Resultados de la Encuesta 2	79
Figura 4. 11 Resultados de la Encuesta 3	80
Figura 4. 12 Resultados de la Encuesta 4	80
Figura 4. 13 Resultados de la Encuesta 5	81
Figura 4. 14 Resultados de la Encuesta 6	81



Resumen

La evolución tecnológica actual, trajo consigo una cierta inclinación por equipos de cada vez menor tamaño, con capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica y de bajo costo. Con esto surgieron nuevas tecnologías que permiten evolucionar, simplificar, y mejorar, en suma, las problemáticas actuales que afectan a la sociedad, ya sea mediante un mecanismo, método o procedimiento para la solución de un problema.

En este proyecto proponemos, analizar y evaluar una Red de Sensores Inalámbricos, para la problemática actual del consumo eléctrico y económico, generada por la iluminación pública de la ciudad de Arequipa. Para esto se realizó un estudio de las diferentes tecnologías existentes de hardware y software, con la meta de proponer soluciones viables para este entorno urbano.

La Red de Sensores Inalámbricos presenta un concepto relativamente nuevo en adquisición y tratamiento de datos mediante sensores, estos se caracterizan por su fácil despliegue y por ser auto-configurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor o receptor.

Con esto se pretende brindar una iluminación pública más eficiente, con el fin de generar un ahorro energético y económico para la población, pudiéndose esto aplicar en calles, parques, avenidas importantes, en zonas de alta delincuencia, plazas, etc. En nuestro caso proponemos esta tecnología en una zona residencial del distrito de Mariano Melgar situado en la ciudad de Arequipa.

Palabras Clave: Red, Sensores, Inalámbricos, Inteligente, Iluminación.

Abstract

The current technological evolution, brought with it a certain inclination for equipment of smaller and smaller size, with processing capacity, wireless connectivity and low cost. With this, emerged new technologies that allow to evolve, simplify, and improve, in short, the current problems that affect at society, either through a mechanism, method or procedure for solving a problem.

In this project we propose, analyze and evaluate a Wireless Sensors Network (WSN), for the current problems of electric and economic consumption, generated by the public illumination of Arequipa city. For this, a study was made of the different existing hardware and software technologies, with the goal of proposing viable solutions in these urban environments.

The Wireless Sensors Network (WSN), presents a relatively new concept in data acquisition and processing of data through sensors, these are characterized by their easy deployment and by being self-configurable, being able to become at all times emitter or receiver.

This is intended to provide a more efficient public illumination, in order to generate energy and economic savings for the population, which can be applied in streets, parks, important avenues, areas of high crime, squares, etc. In our case we propose this technology in a residence zone of the district of Mariano Melgar located in Arequipa City.

Key Words: Network, Sensors, Wireless, Intelligent, Illumination.

Introducción

En la actualidad, existen diversos tipos de redes que en su mayoría presentan la necesidad de algún administrador para su buen funcionamiento, a diferencia de las redes de sensores inalámbricos, que, en su caso en particular, pueden trabajar de manera casi autónoma, pero todas presentan como meta final la solución de un problema, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas.

Es por ello que nosotros en este proyecto, proponemos la utilización de redes de sensores inalámbricos con una variedad de protocolos; los cuales, al ser implementados en conjunto, conformarán un sistema inteligente de iluminación pública para una zona residencial del distrito de Mariano Melgar en la Ciudad de Arequipa y por consiguiente los usuarios y la ciudad en mención serán beneficiadas a través de un ahorro energético y económico.

- **Capítulo I:**

Aquí se detalla el problema, justificación, alcances y limitaciones.

- **Capítulo II:**

Marco Teórico: Se presenta las bases teóricas necesarias para entender las tecnologías utilizadas en nuestro proyecto.

- **Capítulo III:**

Desarrollo de la propuesta: Se muestra la propuesta del diseño para una iluminación inteligente.

- **Capítulo IV**

Resultados: Se muestra los resultados obtenidos y otras pruebas necesarias para su validación. Finalmente se detallan las conclusiones a las que llegamos.

Capítulo I

Planteamiento Teórico

1.1. Título

Propuesta de una Red de Sensores Inalámbricos para un Sistema Inteligente de Iluminación Pública en la Ciudad de Arequipa.

1.2. Identificación del Problema

El área de redes y telecomunicaciones ha revolucionado la forma en como nos comunicamos e interrelacionamos a través de la tecnología en este mundo globalizado. Es por eso, que abordamos el problema de la iluminación pública, la cual representa el 19% del consumo energético a escala mundial (CISO, 2015), por otro lado, las lámparas comunes de alumbrado público emiten grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera; estos datos ponen en alerta al planeta tierra, sumándose a los innumerables problemas de la contaminación ambiental, con los cuales tiene que lidiar el ser humano para seguir conviviendo en armonía con nuestro planeta.

En la actualidad los sistemas de alumbrado público tienen exigencias dadas por el uso, aplicación y demandas de cada actividad en relación con los tipos de estructura, espacios disponibles y factores ambientales que se presentan; también cabe resaltar la falta o el sobre exceso de iluminación en las metrópolis.

Las calles en las ciudades están iluminadas en promedio por 150 mil bombillas que consumen gran cantidad de energía, lo que provoca que el estado tenga un mayor gasto público por constantes excesos en la iluminación activa no controlada, innecesaria en ciertos casos; influyendo en el confort de los usuarios, pues el pago de impuestos es mayor, generando

malestar en la población y además esto puede provocar desde asaltos a transeúntes por motivos de baja iluminación en zonas específicas, hasta accidentes de tránsito.

1.3. Descripción del Problema

Las autoridades municipales se ocupan de sus ciudadanos ofreciéndoles la mejor infraestructura que garantice la seguridad y el bienestar de las personas, no obstante, el rápido índice de urbanización en curso y la creciente población tienen otras necesidades aparte de las mencionadas, las cuales se enfocan en mejoras del alumbrado de las vías públicas, parques públicos y demás espacios de libre circulación que son necesarias para el normal desarrollo de las actividades de la población; ya que en muchos de estos lugares la iluminación es deficiente, hay exceso o poca iluminación y estos inconvenientes se traducen en desperdicio de energía y altos costos económicos.

1.4. Justificación

Mediante nuestra propuesta pretendemos mejorar la iluminación pública utilizando redes de sensores inalámbricos y luces LED para reducir los costos económicos y de consumo eléctrico ya que en la zona residencial de Mariano Melgar de Arequipa el gasto energético del alumbrado público es de un 900Kw en un mes, lo que conlleva a pagar por alumbrado público un total de 464.10 soles, además de ofrecer una luminosidad pobre y deficiente que está entre los 900 a 1000LM que es muy baja para una correcta visibilidad en la noche.

Además, esta propuesta nos da a conocer los pasos a seguir para su implementación de forma eficaz y eficiente; el cual convertirá el sistema de alumbrado público actual en un sistema inteligente de iluminación.

Esto traerá beneficios para los grupos humanos y tecnológicos que se encargan del control del alumbrado público en la ciudad de Arequipa. Por otro lado, el ciudadano de a pie podrá sentir más confort en su vida cotidiana, pues podrá ser beneficiado con esta tecnología que ponemos a su favor.

Las redes de sensores inalámbricos inteligentes nos acercaran a la próxima revolución del internet de las cosas (IoT), en cuanto a la iluminación de ciudades y empresas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Proponer un sistema de redes de sensores inalámbricos para una iluminación pública inteligente con ahorro de costos en la Ciudad de Arequipa.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Precisar la efectividad de la red para el ahorro de energía eléctrica y por consiguiente de los costos.
2. Evaluar la escalabilidad mediante la simulación de Redes de Sensores Inalámbricos.
3. Comprobar la disponibilidad de la información mediante la simulación Redes de Sensores Inalámbricos.
4. Demostrar la fiabilidad de los paquetes mediante la simulación de Redes de Sensores Inalámbricos.

1.6. Preguntas de Investigación

1. ¿Será factible la propuesta de iluminación pública inteligente para la ciudad de Arequipa?
2. ¿La propuesta permitirá ahorrar costos energéticos y económicos?
3. ¿La red de sensores será altamente escalable para las necesidades de la zona?
4. ¿Brindará la red de sensores inalámbricos una alta disponibilidad?
5. ¿Es posible que la red de sensores inalámbricos tenga una alta fiabilidad?

1.7. Alcances y Limitaciones

1.7.1. Alcances

- Redes de sensores inalámbricos para la ciudad de Arequipa.
- Orientado para la iluminación pública.
- Simulación.

1.7.2. Limitaciones

- No se realizará la configuración ni implementación física de la red de sensores inalámbricos.
- No se profundizará en sistemas de monitoreo para las redes de sensores inalámbricos.

1.8. Área Científica

1.8.1. Área: Redes y Comunicaciones

1.8.2. Línea: Redes de Sensores Inalámbricos

1.9. Tipo de Investigación

1.9.1. Tipo: Cualitativa, Descriptiva.



Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Estado de Arte

2.1.1. Título: “Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas”

Autor: Cama, A., De La Hoz, E. & Cama, C., 2012

Objetivo:

En el presente artículo se relacionará a la red de sensores inalámbricos con el Internet de las cosas a través de estándares y protocolos.

Conclusiones:

Este artículo propicia la familiarización de conceptos y protocolos como 6LoWPAN, RPL, y de la web embebida, que tarde o temprano cualquier persona imbuida en el tema del Internet de las cosas (IoT), tendrá que manejar y/o investigar. Sólo se ha hablado brevemente de este amplio dominio y tiene como objetivo animar a seguir profundizándolo.

2.1.2. Título: “Una Red de Sensores para las Smart Cities”

Autor: Olavo Da Paz Teixeira, J., 2015

Objetivo:

El objetivo del Trabajo de Fin de Máster consiste en el estudio de Smart Cities implementando redes de sensores inalámbricos para recolectar datos de ruido mediante micrófonos. Para ello, se usarán ARDUINO como plataforma de cálculo para controlar cada nodo y ZIGBEE como protocolo de comunicación inalámbrica, través de módulos XBee.

Conclusiones:

- Se han realizado varios experimentos en diversos escenarios, y se ha medido el ruido satisfactoriamente, por lo que podemos concluir que la solución propuesta podría incorporarse a una Smart City.
- En la actualidad, se han desarrollado numerosos proyectos para las Smart Cities que están orientados a solucionar problemas reales de las ciudades, mejorando así la calidad de vida de los ciudadanos.
- Las redes de sensores inalámbricos presentan fascinantes retos para la aplicación del procesamiento de la señal distribuida y el control distribuido. Permiten nuevas oportunidades tecnológicas (procesamiento barato).

2.1.3. Título: “Análisis y Evaluación de una Solución basada en IPv6 para Monitoreo de Calidad Ambiental en base a Redes Inalámbricas de Sensores

Autor: Herrera, C., González, F., Sá Silva, P. & Sá Silva, J., 2014

Objetivo:

El objetivo fundamental de este artículo es describir el proyecto desarrollado en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI) de la Escuela Politécnica Nacional, para evaluar la utilización de las Redes Inalámbricas de Sensores y las tecnologías de comunicación de 4ta generación, como una alternativa a las soluciones convencionales para el monitoreo ambiental.

Conclusiones:

Las WSN son una tecnología con un gran potencial. Su integración con Internet y los protocolos TCP/IP, amplían su ámbito de aplicación, pero aún se requiere de un trabajo de integración significativa. El uso del protocolo IP en redes de sensores ciertamente tiene buenas perspectivas, pues permite la interoperabilidad con otras redes ya existentes. De esta forma, un

nodo podrá ser alcanzado desde cualquier lugar, dejando de ser un dispositivo aislado, y también podrá realizar algunas tareas que serían imposibles para otros dispositivos. Además, los mecanismos de autenticidad, integridad y confidencialidad de los datos transmitidos por las WSN pueden ser desarrollados más fácilmente cuando están dotadas del protocolo IPv6.

2.1.4. Título: “Sistema De Sensores Inalámbricos Para La Implementación De Espacios Inteligentes”

Autor: Cázarez Ayala et al., 2014

Objetivo:

Este trabajo se basa en la necesidad de contar con un sistema electrónico de sensores y actuadores eficiente, mediante el cual sea posible la automatización de espacios residenciales y que coadyuve a optimizar el uso y ahorro de la energía eléctrica.

Conclusiones:

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas al sistema de nodos de adquisición de datos y actuación concluimos que es una herramienta potente y confiable para la implementación de espacios inteligentes en aplicaciones residenciales y comerciales. Además, permitirá experimentar con nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica que hagan posible este tipo de aplicaciones más fáciles de implementar, con mayor grado de flexibilidad para incorporar sensores de diversas variables físicas y a un costo económico inferior a los sistemas actualmente comercializados en el mercado.

2.1.5. Título: “Diseño De Una Red De Sensores Inalámbrica Para Agricultura De Precisión”

Autor: Villon Valdiviezo, D., 2009

Objetivo:

Diseñar e implementar una red de sensores inalámbrica con una alta escalabilidad que permita medir aquellas variables que son sensibles en términos de la calidad del cultivo y del ahorro de capital optimizando la utilización y racionalización de fertilizantes. Dicha red deberá presentar la información de una manera amigable.

Conclusiones:

El presente estudio ha mostrado algunas de las tecnologías presentes y en desarrollo de las redes de sensores sin hilos. Se ha mostrado, principalmente que la viabilidad y flexibilidad que tienen dichas redes para adaptarse a casi cualquier tipo de aplicación que lo requiera. Precisamente ha sido la intención del presente estudio demostrar la capacidad que tienen y las virtudes que pueden proporcionar estas redes en el monitoreo de plantaciones agrícolas haciendo un énfasis especial en la agricultura de precisión.

2.1.6. Título: “Uso De Las Redes De Sensores En Actividades De Medición Inteligente Para La Promoción Del Uso Eficiente De La Energía”

Autor: Herrera Chaves, D., 2011

Objetivo:

La implementación de estos smart grids (sistemas modernos de distribución de la electricidad) aparte de mejorar los niveles de eficiencia energética pretenden incorporar las diversas fuentes de energía alternativas al sistema tradicional de distribución eléctrica, disminuir la complejidad en el transporte de energía y reducir los costos de producción eléctrica. Es por esto que una de las tareas fundamentales es la de realizar procesos de medición del uso y producción de la electricidad para entender la forma como los usuarios gastan la energía y determinar en qué puntos el sistema puede ayudar a decrementar los gastos energéticos

innecesarios y llegar a un punto en el cual las fuentes de energía renovable puedan sustituir las fuentes de producción energética tradicionales.

Conclusiones:

El crecimiento de la demanda energética en las pequeñas viviendas e industrias debido al aumento de las actividades humanas en general junto con la disminución general al acceso a fuentes de energía tradicionales, se ha hecho necesario el desarrollo de tecnologías que aprovechen las diferentes fuentes de energía renovable de fácil acceso y que además disminuyan los desperdicios de energía en las diferentes etapas de generación, distribución y uso de la electricidad, buscar nuevas formas de disminuir las pérdidas en la generación de la electricidad, el transporte de ésta desde grandes centros de producción a los consumidores y más importante que todo la reducción de las pérdidas provocadas por el mal uso que la población general le da al recurso energético.

Las nuevas tendencias en desarrollo tecnológico presentan una gran gama de posibilidades que antes no eran viables, como la implementación de servicios convergentes, en este caso se ha descrito el sistema de convergencia de las TIC con la red eléctrica tradicional. Las smart grids permiten esta convergencia de servicios, pero más que buscar la integración de sectores que todos los cambios tecnológicos están sufriendo, se busca incrementar los niveles de eficiencia energética y disminuir la producción de gases de efecto invernadero.

2.1.7. Título: “Protocolos para redes inalámbricas de sensores”

Autor: Garbarino, J., 2011

Objetivo:

Los objetivos generales de la tesis son el estudio de redes inalámbricas de sensores y paradigmas de encaminamiento de vanguardia, y la simulación y análisis de protocolos que utilizan técnicas de diseminación y consciencia de energía.

Conclusiones:

Para extender la vida útil de las redes inalámbricas de sensores se debe optimizar el consumo de energía en todas las actividades que realizan los nodos sensores, y la comunicación es una de las tareas de mayor consumo energético. La optimización en las comunicaciones depende en gran parte del diseño de los algoritmos de encaminamiento, por lo que han recibido especial atención en la comunidad científica interesada en este tipo de redes durante los últimos años. Estos antecedentes nos ayudaron a fortalecer los conceptos de redes de sensores inalámbricos también nos dieron a conocer que esta tecnología se puede aplicar en diferentes áreas de la vida humana que nos acercara cada vez más al Internet de las Cosas (IoT).

2.2 Iluminación Pública Inteligente

El pasar de una iluminación pública normal a una iluminación pública inteligente significa proporcionar luz única, exclusiva en el momento y el lugar necesario, así como la intensidad deseada y una gestión centralizada.

La Iluminación Pública es el servicio público que consiste en la iluminación de las vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, diferente del municipio, con el objetivo de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades, toda ciudad lo que busca es automatizar sus sistemas de iluminación tales como la gestión, monitorización y captura de información. (Wikipedia, s.f)

2.3 Oportunidades, riesgos y desafíos de la iluminación inteligente

2.3.1 Oportunidades de la iluminación inteligente

Las tecnologías para el sistema de iluminación inteligente permitirán un mayor ahorro energético, lo que llevará consigo menor gasto público tanto del gobierno como de las personas que pagan impuestos por el alumbrado público, además de menores emisiones de CO₂ al medio ambiente y mayor bienestar de la población gracias a la gestión eficiente de las luminarias.

2.3.2 Riesgos de la iluminación inteligente

El rápido índice de urbanización en curso en las ciudades, los crecientes problemas de movilidad, los costes de la energía y, más recientemente, la desaceleración económica global; estos factores afectan seriamente a la necesidad de desarrollar sistemas inteligentes para la Iluminación Pública. (Schreder, 2013)

2.3.3 Desafíos de la iluminación inteligente

Con respecto a la iluminación inteligente los desafíos son, implementar en ciudades enteras que generan costo económico y que se puedan adaptar al Internet de las Cosas (IoT), lo cual nos permitirá crear ciudades inteligentes en donde todo estará interconectado.

2.4 Experiencias internacionales de Iluminación Pública

2.4.1 Italia

En Italia se nos presenta un caso práctico plasmado en la ciudad Settimo Torinese, ésta se aplicó a un Centro comercial, mediante sensores con regulación dinámica se percibió un ahorro energético del 85% comparado con una instalación con lámparas de sodio de alta presión de 600W.

2.4.2 País Vasco

Aquí se nos presenta otro caso, de forma parcial, en diferentes municipios de Guipúzcoa y Navarra. En la localidad guipuzcoana de Gabiria, se instaló el sistema LUIX en 16 farolas de una de sus plazas y el ahorro obtenido fue de 1.671 euros: 974 euros por el ahorro de energía y 697 euros por el de mantenimiento. Esto ha supuesto un ahorro del 83,84% y la reducción de 7.720 kilos de CO₂ en un solo año.

Tolosa instaló el sistema, sobre 28 luminarias en la zona del polideportivo Usabal. Se prevé que pasado un año el ahorro económico sea de 3.200 euros y el de energía, del 77%. Por su parte, la localidad navarra de Ustárroz, aplicó el mismo sistema hace unos meses sobre 35 de sus farolas. La previsión es que el balance anual arroje un ahorro económico de 6.438 euros.

Probada la eficacia del sistema, los municipios navarros de Isaba y Salinas han sido los primeros en instalarlo íntegramente en todas sus calles. La instalación ya se ha llevado a cabo y se estima que el ahorro para estos ayuntamientos será de 20.000 euros en un año, con un ahorro de energía cercano al 80%. (Agenciasinc, 2011)

2.4.3 Colombia

En Bogotá se vienen desarrollando algunas iniciativas encaminadas a la consolidación de una Bogotá Inteligente, que busca mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, a través de mejoras en los servicios públicos y los incentivos para el consumo inteligente de la energía. En el caso de Medellín, según datos de la Cámara Colombiana de Comercio Electrónico, la capital de Antioquia no solo es la ciudad más innovadora del país, sino también la más inteligente, y cuenta incluso con un programa llamado Ciudad Inteligente, con el que la alcaldía espera mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Medellín ha logrado hacer cosas interesantes con su movilidad y medios de transporte, dijo la viceministra de las TIC, María Carolina Hoyos a una entrevista con la Revista Semana. Así mismo, durante el Foro Ciudades i 360°, el ministro de dicha cartera, David Luna, dijo que el país está en camino hacia las ciudades inteligentes. Luna puntualizó que su Ministerio ha hecho una inversión que supera los \$330.000 millones en los 32 departamentos, para la construcción de ciudades cada vez más inteligentes, interactivas, incluyentes, informadas e interconectadas. (Intheloop, 2016)

2.4.4 Argentina

Buenos Aires es una de las ciudades mejor iluminadas de América latina. Sus calles, parques y plazas tienen luces LED, una tecnología de punta, que no sólo permite un importante ahorro energético, sino que también brinda mayor seguridad a los porteños, con una luz más potente que la de las lámparas de sodio. La ciudad tiene unas 126.000 luminarias distribuidas en todo el espacio público; en su mayoría, lámparas de sodio de alta presión. Unas 52.700 de esas luminarias ya fueron reemplazadas por nuevas luces con tecnología LED, como parte del Plan de Reconversión del Alumbrado Público que el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Esta implementación del plan, propone cambiar 91.000 lámparas; es decir, el 72 % de las luminarias públicas de la ciudad a luces LED. Las lámparas que se están reemplazando son las de 400 watts, ubicadas en avenidas; las de 250 watts, ubicadas en calles; y las de los globos que están en plazas y parques. La luz blanca de la iluminación LED favorece el reconocimiento facial y la correcta percepción de los colores, no sólo a simple vista, sino también en las cámaras de video vigilancia, lo que refuerza la prevención del delito.

La tecnología LED se sumó también al Sistema Inteligente de Tránsito. Como las ópticas son más visibles, los conductores pueden divisar el color del semáforo a mayor distancia; esto

le otorga un tiempo mayor para realizar las maniobras. Las LED se colocaron además en las ópticas de todos los cruces con semáforos peatonales de cuenta regresiva. Es decir, en 470 cruces. (Ciudadverde.lanacion, 2016)

2.4. Iluminación pública en la Ciudad de Arequipa

Desde el descubrimiento de la bombilla hasta el reciente desarrollo de la tecnología que incluye el descubrimiento de la iluminación a base de LEDs, ésta última viene cogiendo mayor fuerza los últimos años debido a sus características de bajo consumo y de horas de luz, compitiendo a su vez con otras como halógenas o incandescentes.

2.4.1. Iluminación Pública

Según la SEAL 2017, tiene a nivel regional al menos 136 mil 868 postes con lamparillas de vapor de sodio que emiten luz amarilla, con gran aceptación en un sector, porque son tonos cálidos, a su vez, la luz blanca es considerada como fría, pero esta ofrece una mejor visibilidad y podría ser un aliado contra la delincuencia, por ejemplo, en mejores identificaciones faciales. Solo en nuestra ciudad, existen aproximadamente 97 mil 850 postes de alumbrado público, los mismos que de acuerdo a las iniciativas privadas, podrían cambiar de vapor de sodio a LED, tecnología rescatada a nivel mundial por el ahorro en el consumo de electricidad.

Mensualmente, la SEAL realiza labores de mantenimiento de las bombillas a través de sus diferentes cuadrillas, pues deben hacer los esfuerzos para mantenerlas en funcionamiento, de lo contrario podrían ser sancionados por el organismo regulador correspondiente. Por el paso de los años, porque son atacados o afectados por accidentes de tránsito, la SEAL mensualmente cambia entre 500 y 600 lamparillas en los diferentes distritos metropolitanos de Arequipa. Existen algunos postes con luz blanca en la ciudad, pero básicamente corresponden a obras

concretadas por las diferentes municipalidades, pues la SEAL instala lamparillas de vapor de sodio.

2.4.2. Renovaciones Recientes

Uno de los últimos cambios significativos concretados por la Sociedad Eléctrica, fue en la Plaza Mayor donde renovaron las lámparas de vapor de sodio, con la finalidad de brindar una mejor iluminación y resaltar la arquitectura de sillar de los monumentos históricos. Los trabajos consistieron en cambiar 72 lámparas de 70 W en las farolas ornamentales de la plaza, 16 lámparas de 150 W en los postes cercanos a la pileta y 16 lámparas de 250 W en los postes externos. De igual forma, ejecutaron trabajos en los tres portales de la plaza, en el Portal de Flores, Portal de San Agustín y Portal de la Municipalidad donde se renovaron 228 lámparas tanto en el primer piso y segundo piso, así como en las bóvedas de los mencionados portales.

Como parte complementaria a los trabajos, la empresa realizó renovaciones en los portales de Flores y San Agustín, cambió 30 lámparas de 70 W de la bóveda del segundo piso y en el Portal de la Municipalidad se remozó 16 lámparas de 150 W de las luminarias instaladas en la cornisa de los pórticos. Aunque en las últimas semanas la Plaza Mayor ya luce algunas lamparillas tipo LED, que fueron instaladas con ocasión del Congreso de Ciudades Patrimonio Mundial. La renovación masiva de las bombillas en la ciudad, está en manos del gobierno provincial, donde deberán decidir la mejora para la ciudad ya que es casi evidente la reducción del consumo energético y con ello disminuiría el consumo económico.

2.4.3. Problemas en la Actualidad

Se realizó un trabajo de campo previo en diversos escenarios correspondientes a la ciudad de Arequipa, aquí se pudo observar que la problemática de energía es un hecho que se presenta actualmente en más del 50% de las calles de nuestra ciudad blanca, por esta razón consideramos

que el presente proyecto sería una buena opción para resolver los sobre-excesos de energía que se generan y a su vez reducir las emisiones de CO₂ que se emiten al medio ambiente.



Figura 2. 1 Luces encendidas en pleno día
Fuente: Elaboración propia



Figura 2. 2 Luminarias al cien por ciento
Fuente: Elaboración propia

2.5. Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Las Redes de Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Networks, o simplemente WSN), son la mejor tecnología que existe en la actualidad según Intel, Google entre otras, para recolectar información del entorno de una manera rápida, precisa y centralizada. Estas redes pueden estar constituidas por miles de motas o nodos que tienen la capacidad de consumir muy poca energía para el procesamiento y envío de la información.

Los nodos están constituidos en su mayoría por un microcontrolador, que es un circuito integrado e interconectado, que está constituido por una unidad de procesamiento central (CPU), memoria RAM, ROM y puertos de entrada y salida, una fuente de energía (esta puede ser una pequeña batería de unos 5V), una antena para la comunicación entre los nodos y sensores de distintos tipos para monitorizar el entorno. Además, para esta tecnología se crearon estándares de comunicación específicos como son el 802.15.4, Zigbee, 6LowPan entre otros que hablaremos con más detalle en los siguientes capítulos.

2.5.1. Características de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Entre las características que poseen las Redes de Sensores Inalámbricos se encuentran las siguientes:

- **Tolerancia a fallos:** Algunos nodos sensores pueden fallar o bloquearse debido a intervención de terceros, factores climáticos, geográficos y tecnológicos. Esto no afecta a la totalidad de la red de sensores ya que estas redes tienen la capacidad de auto reprogramarse.
- **Topología:** Por lo general los nodos están distribuidos aleatoriamente, esto es así porque los nodos no siguen ninguna topología, ellos buscan el mejor camino para transmitir la información a su destino.

- **Escalabilidad:** Los nodos que se pueden desplegar en un área de monitoreo pueden ser desde cientos a miles, las redes de sensores tienen la característica de que se pueden ir añadiendo nodos sin la necesidad de que se modifique toda la red.
- **Sincronización de los dispositivos:** Para que los nodos de la red se puedan comunicar de manera segura y puedan detectar eventos sin ambigüedades, los nodos deben sincronizarse, esto hará que no tengamos repetición de información y los nodos sabrán que vecinos tienen a su alrededor para el envío de paquetes.
- **Heterogeneidad:** La red consta de varios sensores los cuales pueden tener distintas características, pero deben de trabajar juntos por lo cual la red debe estar proporcionada para el funcionamiento heterogéneo de los dispositivos. (Bermudez Fernández, A., 2014)
- **Limitaciones energéticas:** Uno de los principales cuellos de botella que encontramos en las operaciones realizadas por los sensores es, la disponibilidad energética de los nodos. Los sensores en la mayoría de los casos poseen baterías que se caracterizan por no poder ser recargadas, lo cual convierte este problema en la principal restricción a la hora de desarrollar nuevos protocolos. Aumentar el tiempo de vida de un sensor implicará, por tanto, disminuir los niveles de tolerancia o limitar la precisión de los resultados obtenidos. (Aranzazu, C. & Moreno, G., 2009)
- **Movilidad:** La red de sensores cuenta con varios sensores que son distribuidos aleatoriamente en el área geográfica de aplicación y pueden requerir que los sensores cambien de posición en la red, por lo cual deben poder moverse sin dificultad. (Bermudez Fernandez, A., 2014)

- **Seguridad:** Atendiendo al uso final para el cual esté desarrollada la red de sensores, la seguridad en las comunicaciones puede ser un factor muy importante a la hora de determinar los protocolos que se desarrollaran en las diferentes capas de los nodos.
- (Aranzazu, C. & Moreno, G., 2009)

2.5.2. Elementos de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Las Redes de Sensores Inalámbricos la constituyen principalmente tres elementos que son el nodo, el recolector de información y el sistema externo, que se detallan a continuación:

- **Nodo:** Dispositivo encargado de recoger los datos, autónomo que está compuesto por: micro-controladores, batería, módulos de comunicación y almacenamiento.
- **Recolector de datos:** Como lo dice, recolecta la información de los nodos y transmite la información al sistema externo, puede ser un nodo central.
- **Sistema externo:** Es el centro de acopio de datos y gestión, que envía la información a un servidor donde procesan la información.



Figura 2. 3 Elementos de redes de sensores
Fuente: elaboración propia

Los nodos de las redes inalámbricas cuentan con distintas partes:

- **Sensor:** Puede ser uno o varios sensores, encargados de recoger los datos. Como sensores de movimiento, fotoeléctricos, humedad, etc.
- **Microcontrolador:** Son pequeñas placas que vienen integradas con un CPU, memoria RAM y ROM, cada microcontrolador requiere de un programa para que

realice una función este se almacena en la memoria ROM. Su principal función es de procesar la información.

- **Antena de comunicación:** Para la comunicación inalámbrica entre los nodos. Utiliza estándares de comunicación de bajo consumo como el IEEE 802.15.4.
- **Fuente de Energía:** Pequeñas baterías pueden hacer funcionar a los nodos por años o pequeñas placas solares que harán que los nodos tengan mayor autonomía y no tengan la necesidad de ahorrar energía para el procesamiento y envío de información

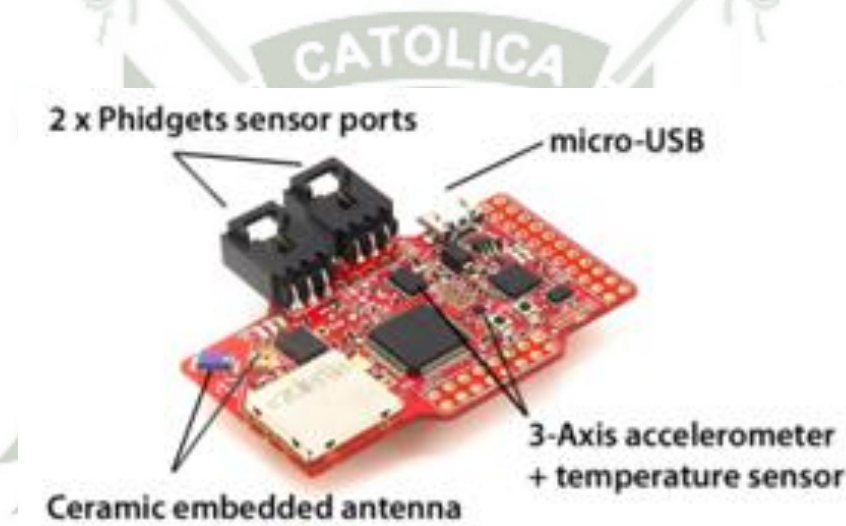


Figura 2. 4 Partes de un Nodo
Fuente: <http://zolertia.sourceforge.net/>

2.5.3. Tipos de nodos

Existen tres tipos de nodos:

- **Nodo Sensor:** Se encarga de recolectar datos del entorno, para transferir esa información a un nodo central, no realiza enrutamiento.
- **Nodo Enrutador:** Se encarga de encaminar los mensajes de los nodos sensores hacia el nodo coordinador; a su vez permite la interconexión de diferentes sensores a la red para que finalmente estos se puedan conectar a otros enrutadores.

- **Nodo Coordinador:** Se encarga de gestionar e iniciar las comunicaciones entre los dispositivos de la red, sólo puede existir uno por red y también cumple la función de router de frontera.

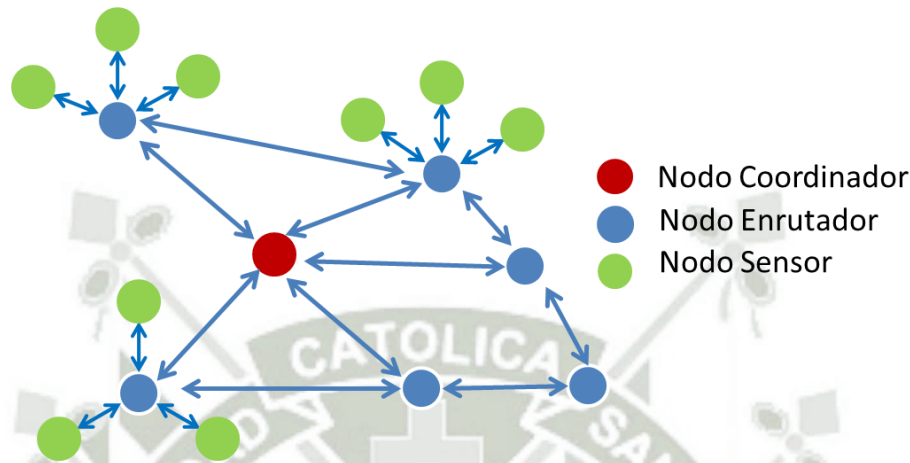


Figura 2. 5 Tipos de nodos
Fuente: Elaboración propia

2.5.4. Tipos de Comunicación Inalámbrica

2.5.4.1. Redes Inalámbricas con infraestructuras.

Todos los dispositivos de una red inalámbrica se comunican entre sí mediante un enrutador inalámbrico (punto de acceso inalámbrico). Los dispositivos de la red inalámbrica deben poseer direcciones IP válidas para la red actual y compartir el mismo SSID y el mismo canal punto de acceso inalámbrico.

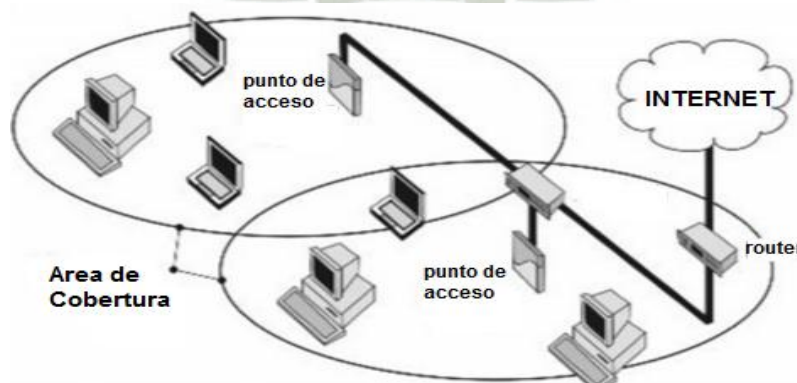


Figura 2. 6 Redes Inalámbricas con Infraestructura
Fuente: Elaboración propia

2.5.4.2. *Redes Inalámbricas sin infraestructuras (Ad-hoc).*

Una conexión ad-hoc es una conexión temporal entre computadoras y dispositivos usada para un fin específico como, por ejemplo, compartir archivos o participar en juegos en red de varios jugadores.

Además, es posible compartir temporalmente una conexión a Internet con otros usuarios de la red ad hoc. De este modo los usuarios no tienen que configurar sus propias conexiones a Internet. Las redes ad hoc solo pueden ser inalámbricas, de modo que cada cliente deberá contar con una placa de red inalámbrica correctamente instalada y configurada para unirse a esta red. A las redes de sensores inalámbricas se les considera redes sin infraestructura ni administración centralizada. (sobretodoredes, s.f)

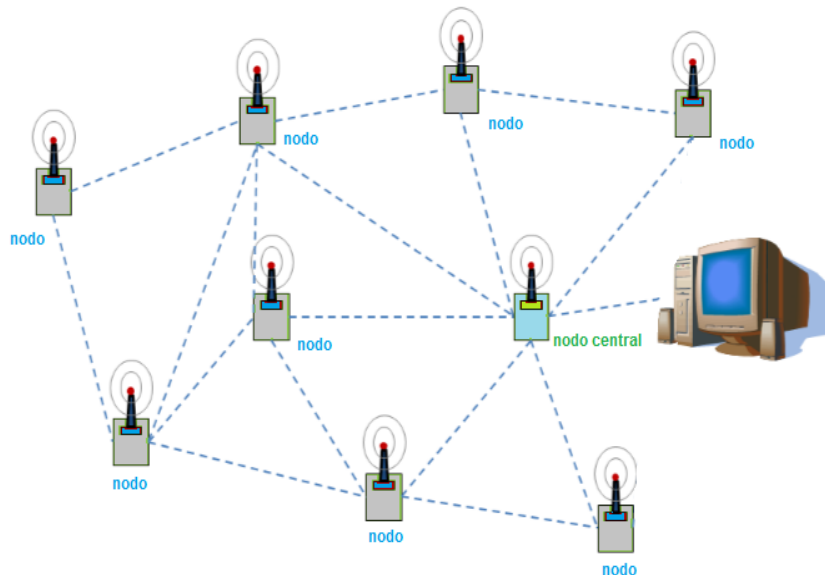


Figura 2. 7 Redes Inalámbricas sin Infraestructura
Fuente: Elaboración propia

2.5.5. Aplicaciones de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Las WSN se pueden aplicar en casi todas las áreas de la vida humana e industrial, gracias a su infraestructura dinámica y bajo consumo de recursos.

- **Aplicaciones ambientales:** Donde se puedan monitorizar cambios y tendencias del entorno, que nos servirá para tomar medidas adecuadas. Ejemplo: Monitorización de contaminación de aguas, incendios forestales, incendios de bosques, etc.



Figura 2. 8 Aplicaciones ambientales
Fuente: <http://www.monografias.com>

- **Tracking:** Detección de objetos que están etiquetados con nodos sensores que están en constante movimiento y estáticos, para esto la topología debe ser dinámica y adaptarse al entorno para buscar nuevos caminos de comunicación entre los diferentes nodos y el nodo coordinador. Ejemplo: Detección de paquetes en almacenes.

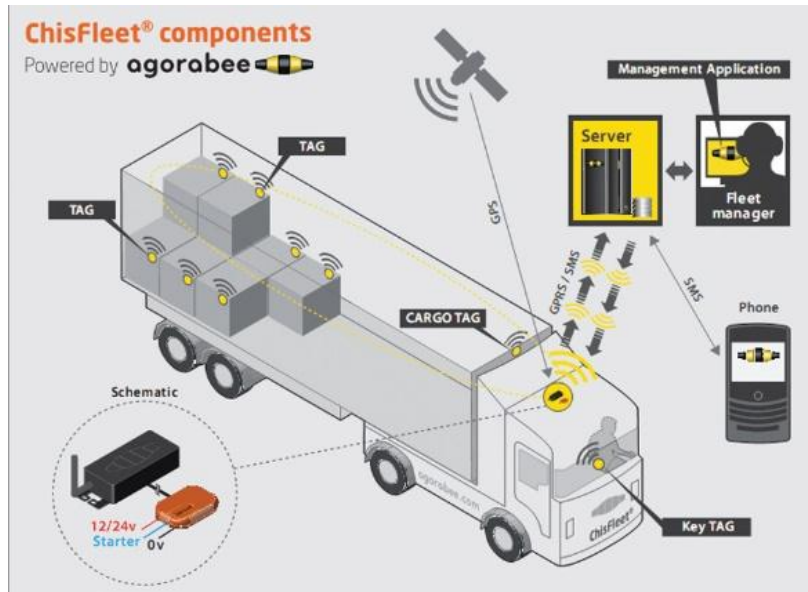


Figura 2. 9 Tracking
Fuente: <https://ecneurope.wordpress.com>

- **Aplicaciones para la agricultura de precisión:** La agricultura será plenamente autónoma y monitorizada en tiempo real midiendo los niveles de humedad, calidad de tierra; la cual hará que los cultivos crezcan en un entorno adecuado.

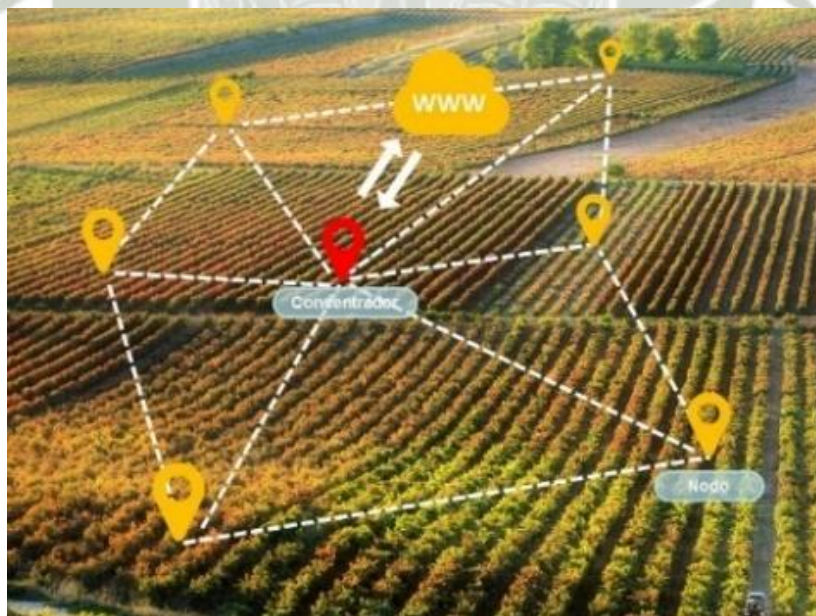


Figura 2. 10 Agricultura de precisión
Fuente: <https://www.biobot.com.ar>

- **Domótica:** Para la automatización de los hogares, que facilitará la vida de los seres humanos ya que todo se centralizará en una sola aplicación en donde nosotros tendremos pleno control sobre nuestro hogar y todo el entorno se volverá inteligente: Ejemplo: Control y monitorización de nuestros hogares, monitorización del consumo energético en el hogar.

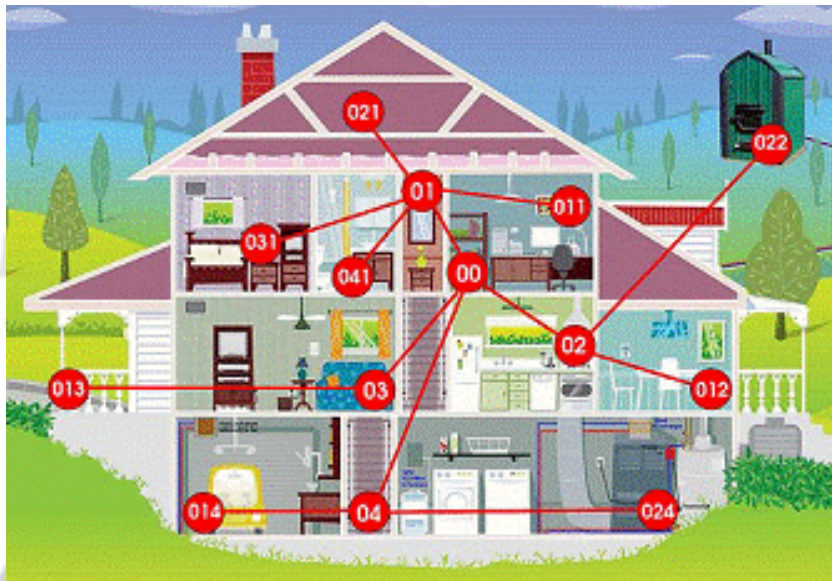


Figura 2. 11 Domótica
Fuente: <http://www.monografias.com/>

- **Aplicaciones militares:** Las WSN se usan para el control, comunicaciones, procesamiento, inteligencia, vigilancia, reconocimientos y objetivos militares. Su rápido y denso despliegue de las redes de sensores inalámbricos, su auto-organización y tolerancia a fallos las convierte en una excelente tecnología para las aplicaciones militares. Ofrecen una solución de bajo coste y fiable para éstas ya que la pérdida de un nodo no pone en riesgo el éxito de las operaciones. Ejemplos: monitorización de fuerzas enemigas.

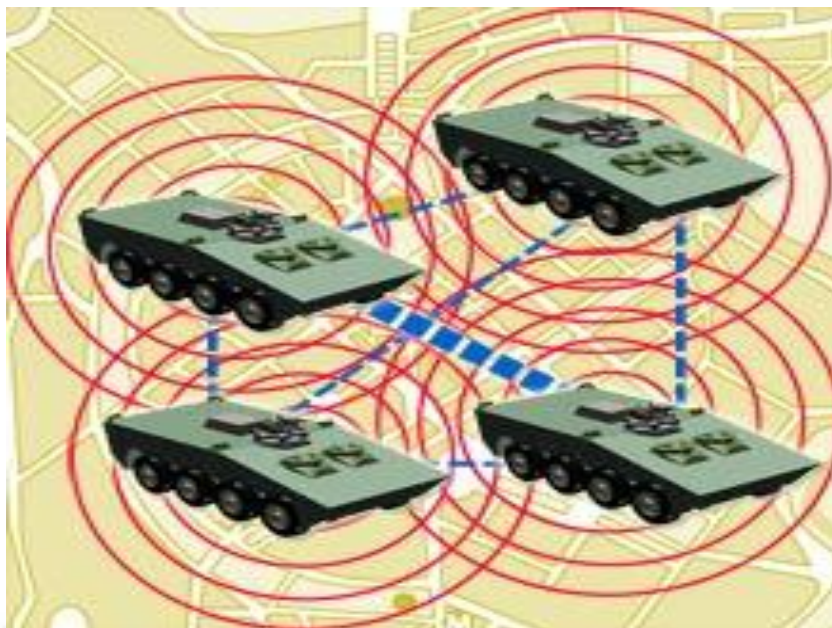


Figura 2. 12 Aplicaciones militares
Fuente: <http://realmadriale.blogspot.pe/>

- **Monitorización de instalaciones:** La lectura de medidores de agua y electricidad puede hacerse mediante una WSN, habrá un nodo por vivienda de un edificio o un barrio sin necesidad de tender nuevos cables. Un nodo principal recopilará la información para enviarla a la compañía suministradora. De esta misma forma se pueden monitorizar cableado eléctrico o cañerías de agua o gas, estructuras, sin necesidad de un cableado paralelo.



Figura 2. 13 Monitorización de instalaciones
<https://images.ssstatic.com>

- **Aplicaciones médicas:** Las WSN pueden solucionar diversos campos en la medicina; proveer interfaces para los discapacitados, monitorización integral de pacientes, diagnósticos, administración de medicamentos en hospitales, tele-monitorización de datos fisiológicos humanos y seguimiento y monitorización de pacientes en un hospital. (Rodríguez, A., 2008)

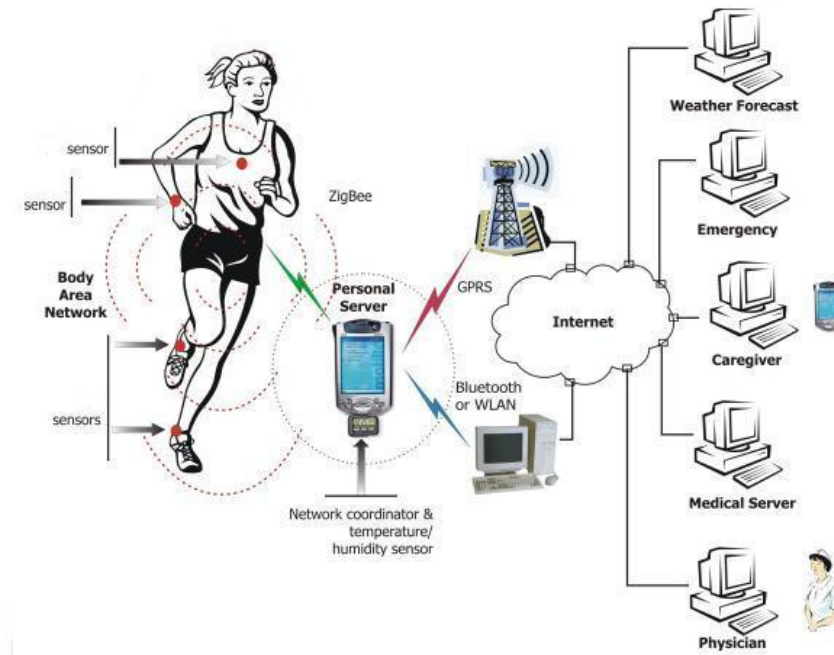


Figura 2. 14 Aplicaciones militares
Fuente: <https://es.wikipedia.org>

2.5.6. Topologías de las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Existen diversidad de topologías que pueden ser usadas para implementar una aplicación de red de sensores inalámbricos (WSN), pero las principales son: estrella, malla y árbol. Cada una de estas topologías presenta desafíos, ventajas y desventajas. La topología se refiere a la configuración de los componentes (hardware), y como los datos son transmitidos a través de esa configuración. Cada topología es apropiada bajo ciertas circunstancias y puede ser inapropiada en otras. (Perez, J., Urdaneta, E. & Custodio, A., 2014)

2.5.6.1. Topología Estrella (Star).

Es la topología más básica en donde los nodos finales o sensores envían información a un nodo coordinador, los nodos finales no enrutan información. Esta topología es simple, y a su vez restringe la distancia total que la red puede alcanzar, todos los datos de los sensores pasan la información primero por el nodo central antes de llegar a su destino. (Wirelessensorn, 2012)

Estrella

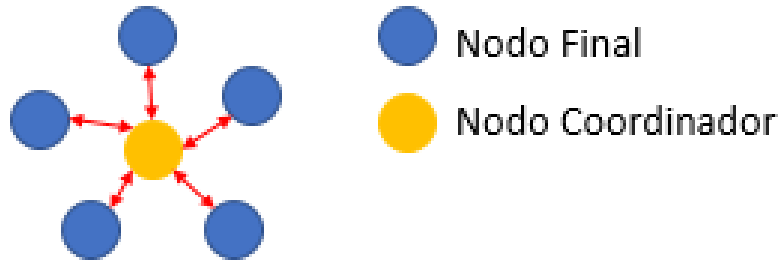


Figura 2. 15 Topología Estrella
Fuente: Elaboración Propia

2.5.6.2. Topología Malla (Mesh).

Esta topología soluciona muchos problemas al usar trayectorias de comunicación redundante para aumentar la fiabilidad del sistema. En una red de malla, los nodos mantienen múltiples trayectorias de comunicación al coordinador, así si el nodo enrutador falla, la red automáticamente enruta los datos a través de una trayectoria diferente. La topología de malla, aunque es muy confiable, sufre de incremento de latencia de red ya que los datos deben hacer múltiples saltos antes de llegar al Gateway. (Wirelessensorn, 2012)

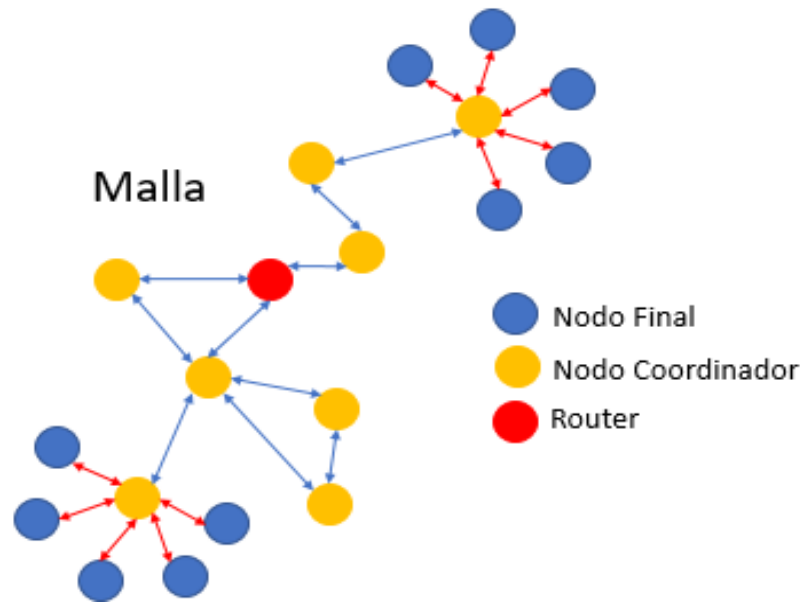


Figura 2. 16 Topología Malla
Fuente: Elaboración Propia

2.5.6.3. Topología Árbol (Cluster Tree).

En esta topología todos los nodos sensores de cada área de cobertura tienen un nodo enrutador, que es el encargado del enrutamiento hacia el nodo coordinador. El nodo coordinador cumple la función de iniciar y coordinar toda la red.

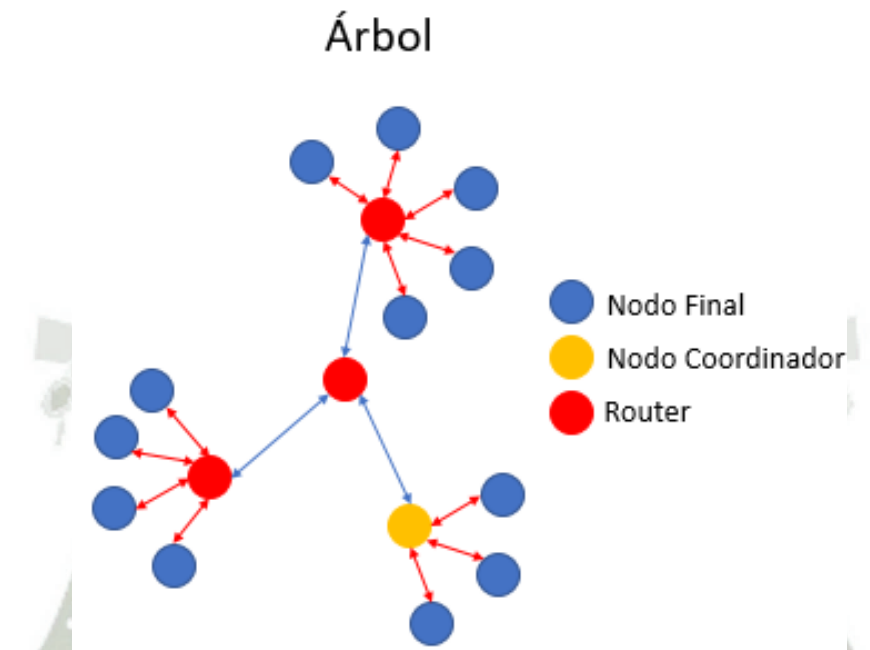


Figura 2. 17 Topología árbol
Fuente: Elaboración Propia

2.5.7. Sistemas Operativos en Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Los sistemas operativos para WSN son típicamente menos complejos que los de propósito general, tanto debido a los requisitos especiales de las aplicaciones en las que se usan, como a las restricciones de recursos encontradas en las plataformas de hardware utilizadas. Por ejemplo, las aplicaciones de WSN no son tan interactivas como son las aplicaciones para PC y debido a esto, estos sistemas no necesitan incluir el soporte de interfaces de usuario. Los nodos sensores incluyen un micro-controlador capaz de ejecutar tareas que requieren el acceso a elementos de hardware (sensores, memoria, radio, etc.). Las funciones principales de un sistema operativo son:

- Gestionar eficientemente los recursos de hardware.
- Facilitar la programación de aplicaciones de alto nivel.

Estos sistemas operativos están diseñados específicamente teniendo en cuenta las restricciones de hardware de los nodos sensores. Ya que los sistemas operativos diseñados para otro tipo de sistemas empotrados no se adaptan a las fuertes restricciones de los nodos sensores, sobretodo relacionadas con el tamaño de memoria, consumo y requisitos de las aplicaciones. (Linares, J., 2014)

2.5.7.1. TinyOS.

TinyOS es quizás el primer sistema operativo diseñado específicamente para redes de sensores inalámbricas. A diferencia de la mayoría de los otros sistemas operativos, TinyOS se basa en un modelo de programación controlada por eventos en vez de multiprocesos. Los programas de TinyOS están compuestos por eventos y tareas guiadas. Cuando un evento externo ocurre, como puede ser la entrada de un paquete de datos o la lectura de un sensor, TinyOS llama al evento apropiado y lo ejecuta. El lanzador de eventos puede posponer tareas durante cierto tiempo. Tanto TinyOS como los programas escritos para él son escritos en un lenguaje de programación especial llamado nesC, que es una extensión del lenguaje de programación C. NesC está diseñado para determinar las prioridades entre tareas y eventos. TinyOS es un sistema operativo orientado a trabajar con redes de sensores, desarrollado en la Universidad de Berkeley.

TinyOS puede ser visto como un conjunto de programas avanzados, el cual cuenta con un amplio uso por parte de comunidades de desarrollo, dada sus características de ser un proyecto de código abierto (Open Source). Este conjunto de programas contiene numerosos algoritmos,

que nos permitirán generar enrutamientos, así como también aplicaciones pre-construidas para sensores.

Soporta diferentes plataformas de nodos de sensores, arquitecturas bases para el desarrollo de aplicaciones. El diseño de TinyOS está basado en responder a las características y necesidades de las redes de sensores, tales como reducido tamaño de memoria, bajo consumo de energía, operaciones de concurrencia intensiva, diversidad en diseños y usos, y finalmente operaciones robustas para facilitar el desarrollo confiable de aplicaciones. (Fernandez, R. et al., 2009)

2.5.7.2. ContikiOS.

ContikiOS es un pequeño sistema operativo de código abierto, altamente portable y multitarea que utiliza el lenguaje de programación C, desarrollado para uso en pequeños sistemas, desde ordenadores de 8-bit a sistemas empotrados sobre micro-controladores, incluyendo nodos de redes de sensores. Incluye multitarea y una pila TCP/IP, que está diseñada especialmente para comunicaciones inalámbricas de bajo consumo, soporta distintos protocolos

Una configuración típica de ContikiOS es 2 kilobytes de RAM y 40 kilobytes de ROM. ContikiOS consiste en un núcleo orientado a eventos, el cual hace uso de protohilos, sobre el cual los programas son cargados y descargados dinámicamente. También soporta comunicación entre procesos mediante paso de mensajes a través de eventos, al igual que un subsistema de interfaz gráfica de usuario (GUI) y tiene un simulador llamado Cooja que es altamente gráfico.

2.5.8. Estándares de Comunicación de redes inalámbricas

2.5.8.1. Wi-Fi (802.11).

Es el estándar internacional de comunicación inalámbrico más conocido por todo el mundo, Wi-Fi es una marca de la corporación comercial Wi-Fi Alliance, además integrada por varias empresas interesadas en promover un estándar internacional que regule las características de las conexiones inalámbricas a Internet. Este estándar permite conexiones de alta velocidad de transmisión y largo alcance dependiendo de las variantes.

El estándar 802.11 especifica sus funciones y uso de la capa física y la capa de enlace de datos del modelo OSI. Cualquier protocolo de nivel superior puede utilizarse en una red inalámbrica Wi-Fi de la misma manera que puede utilizarse en una red Ethernet. Existen diferentes tipos de conexión Wi-Fi que se diferencian por su velocidad de transmisión y frecuencia. Como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2. 1
Tipos del estándar Wi-Fi

Estándar	Velocidad máxima de transmisión	Banda de frecuencia
802.11	2Mbps	2.4Ghz
802.11 ^a	54Mbps	5Ghz
802.11g	54Mbps	2.4Ghz
802.11b	11Mbps	2.4Ghz
802.11n	600Mbps	2.4 - 5Ghz
802.11ac	1000Mbps	5Ghz

Fuente: Elaboración propia

2.5.8.2. Sistemas de comunicaciones de celulares.

Entre los estándares de comunicación que existe están la de los celulares que fueron evolucionando con el paso del tiempo, los cuales se detallaran a continuación.

1) GPRS (General Packet Radio Service)

Esta tecnología permitió una mensajería instantánea, mensajes multimedia y correo electrónico y la principal ventaja que trajo es que siempre se esté conectado a la red. Su velocidad de transmisión era de 56 a 114Kbps, pero como se ve no era la más rápida, pero si la que tenía más cobertura.

2) EDGE (Enhanced Data Rates for GSM of Evolution)

Es una mejora de GPRS, este nuevo estándar nos permite alcanzar velocidades de descarga de 236Kps lo cual permitía enviar datos móviles pesados y poder acceder a páginas web a una buena velocidad.

3) 3G o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Es la tercera generación de estándares de comunicaciones móviles, que revolucione el mundo de los celulares gracias a sus altas tasas de descarga que era de los 2Mbps, esta tecnología móvil tenía como principal objetivo facilitar la transferencia multimedia y la conectividad permanente lo que permitía navegar por internet de forma fluida.

4) HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

Este tipo de tecnología móvil también se le conoce como 3.5G, 3G+, es prácticamente una mejora del estándar 3G, su gran mejora es la velocidad de descarga que podía alcanzar los 14Mbps.

5) 4G o LTE

Tecnología de cuarta generación, es la más utilizada en la actualidad en la mayoría de países gracias a sus tasas de descarga de hasta 100Mbps en movimiento y 1Gbps en reposo, lo cual hace que se pueda transmitir sobre todo contenido multimedia y paquetes de información a grandes velocidades. Mejora el tiempo de respuesta y lo mejor de esta tecnología es la disminución de la congestión en las redes, lo que hace que más usuarios estén conectados al mismo tiempo en una zona.

2.5.9. Protocolos Para las Redes de Sensores Inalámbricas

2.5.9.1. IEEE 802.15.4.

Desde el año 2013 este estándar fue el más usado en las redes de sensores inalámbricos (WSN), el 802.15.4 especifica las comunicaciones y funciones de la capa física y la capa de control de acceso al medio (MAC) del modelo OSI. Tiene las siguientes características.

- Trabaja en las bandas de frecuencia de 2.4Ghz, 868Ghz y 915Ghz.
- Tasa de transmisión de datos de hasta 250kbps en 2.4 GHz, 40kbps en 915MHz y 20kbps en 868 MHz
- Confirmación de mensajes para transferencias de datos confiables
- Soporta las topologías de estrella y malla (peer to peer)
- Bajo consumo energético

Las características de las capas del estándar IEEE 802.15.4

- **Servicios de Capa Física:** Las características de la capa física incluyen activación/desactivación del transceptor radio, selección de canal de radio, detección de nivel de energía (ED, Energy Detection) y calidad de la señal recibida (LQI, Level

of Signal Quality), evaluación de canal libre (CCA, clear channel assessment), y transmisión y recepción de paquetes a través de la banda de frecuencia ISM 2.4Ghz

- **Servicios de Capa MAC:** Reconocimientos en la entrega de tramas, la asociación y la disociación de tramas, mecanismos de acceso al canal, validación de trama. (Studylib, s.f)

2.5.9.2. ZigBee.

ZigBee es un estándar de comunicaciones inalámbrico, para redes inalámbricas de sensores, propuesto por la ZigBee Alliance. La especificación ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4. De hecho, se complementan proporcionando una pila completa de protocolos que permiten las comunicaciones entre una multitud de dispositivos de una forma eficiente y sencilla. (Lucaes, 2009)

- Diversas bandas de trabajo: 2,4 GHz (16 canales), 915 MHz (10 canales) y 868 MHz (1 canal).
- Direccionamiento a nivel red de 16 bits.
- Soporte para el encaminamiento de paquetes
- Dos tipos de dispositivos. FDD (coordinador, encaminador, dispositivo final) y RFD (dispositivo final).
- Bajo consumo energético.
- Gran densidad de nodos por red.

2.5.9.3. 6LowPAN.

IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN) básicamente incluye los mecanismos necesarios para comprimir direcciones IPv6 sobre IEEE 802.15.4. Se elige trabajar con IPv6 (en vez de IPv4) en las capas superiores de IEEE 802.15.4 (red) principalmente por la oportunidad de disponer de una abundante cantidad de direcciones IP y debido a las restricciones de direccionamiento inherentes a IPv4, en vista de la gran demanda de direcciones IP de los próximos años.

Su arquitectura es formada por dos tipos de nodos; nodos enrutadores que sirven para el enrutamiento de paquetes dentro de la red y los nodos router de frontera. Estos últimos actúan como un puente, entre las redes 6LowPan y las redes IPV6/IPV4, pero su principal función es la de iniciar la red, configurarla, gestionarla y recolectar información para luego poder enviarla a un sistema externo centralizado de recolección y administración.

Los beneficios de usar 6LoWPAN van de la mano con las ventajas que representa el enfoque de Internet de las cosas, ya que simplifica diversos protocolos propietarios con el protocolo de Internet (IP) y así conduce a la integración de los dispositivos embebidos. 6LoWPAN debería ser usado, además, por las siguientes razones: (Cama, A., De La Hoz, E. & Cama, C., 2012)

- Puede hacer uso de la infraestructura de la red Internet dado que está basada en redes IP.
- La tecnología basada en IP es ampliamente conocida, probada y usada alrededor del mundo durante décadas, además la documentación de la tecnología IP es abierta y gratuita.
- Los dispositivos basados en IP fácilmente pueden ser conectados a otras redes IP sin la necesidad de proxies o gateways.

2.5.9.4. Protocolo RPL.

Los estándares 6LowPan y el IEEE 802.15.4 no precisan protocolos de enrutamiento, es por eso que se crea el protocolo RPL(Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks) en el año 2009, el protocolo nos permite enrutar paquetes en una red multipunto.

RPL crea una topología similar a un árbol (DAG o grafo acíclico dirigido), esto lo hace para mantener el estado de la red, evitar rutas cíclicas, anunciar la existencia del DAG a otros equipos y permitir su incorporación

Cada nodo dentro de la red tiene un rango asignado (Rank), el cual aumenta a medida que los nodos se alejan del nodo raíz. Los nodos reenvían paquetes utilizando como criterio de selección de ruta, aquella con el rango más bajo. (Fabregas Bachs, M., 2016)

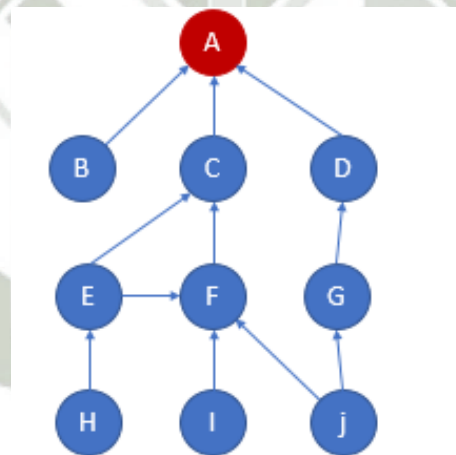


Figura 2. 18 Modo de Enrutamiento de RPL
Fuente: Elaboración Propia

2.5.9.5. Enrutador de Frontera.

Los enrutadores de frontera son routers que se pueden encontrar en el borde de una red. Su función es conectar una red a otra. El enrutador fronterizo se utilizará para enrutar datos entre una red WSN (RPL) y una red IP externa.

2.5.10. Motas Comerciales

1) Zolertia Z1

Esta mota fue creada a principios del año 2009 por la empresa Zolertia, es compatible con 6LowPan y Zigbee, y también soporta actualmente a los sistemas operativos TinyOS y ContikiOS. Su hardware consta de los siguientes componentes:

- **MCU de energía ultra-baja:** Z1 está equipado con un micro-controlador de baja potencia MSP430F2617 de segunda generación, que cuenta con una potente CPU RISC de 16 bits, con velocidad de reloj de 16MHz, calibración de fábrica de reloj incorporada, 8KB de RAM y una memoria Flash de 92KB.
- **Transceptor de 2,4 GHz:** Utiliza el transceptor CC2420, compatible con IEEE 802.15.4, que opera a 2,4 GHz con una velocidad de datos efectiva de 250Kbps. La selección de hardware Z1 garantiza la máxima eficacia y robustez con un bajo coste energético.
- **Dos sensores digitales:** Z1 viene con sensores digitales integrados listos para funcionar; un acelerómetro digital programable (ADXL345) y un sensor de temperatura digital (TMP102) están en la placa principal.
- **Sensores externos:** Z1 es compatible con Phidgets y muchos otros sensores analógicos y digitales. Los Phidgets son sensores analógicos fáciles de conectar, trabajan hasta con 5V, pero la mayoría de ellos funcionan con 3V o menos.
- **Programación USB:** Z1 no requiere ningún hardware externo para ser programado, la capacidad incorporada del USB completo permite el desarrollo rápido de usos de WSN y la integración rápida con sistemas

múltiples. El conector microUSB también sirve para la comunicación de alimentación

- **Antenas:** Z1 mote viene con una antena cerámica integrada de Yageo/Phycomp conectada al CC2420 a través del condensador C62. Opcionalmente, una antena externa se puede conectar a través de un conector UFL.

Con respecto a la mota Z1, cabe mencionar a los Ziglets, ya que estos se encuentran relacionados con las WSN, son un nuevo concepto de sensores para la estandarización de sensores digitales, que se basan en el bus I2C y proporcionan una manera fácil de conectar más de un sensor a un único puerto de su Z1

2) Mica2 y Mica2dot

Estas motas pertenecen a la tercera generación de módulos que se utilizan para permitir redes de sensores inalámbricos de baja potencia. El mote MICA2 ofrece mejores características que el mote original. El sistema operativo es distribuido por TinyOS, mediante un software v1.0 y una plataforma mejorada para las redes de sensores que contienen mejores características que eliminan errores. TinyOS soporta gran escala de tarjetas inalámbricas permitiendo al usuario configurar estas redes de sensores inalámbricos (WSN).

Estas motas se basan en el Atmel ATmega128L. Es un micro-controlador de bajo poder, el cual trabaja bajo el sistema operativo TOS que es albergado en una memoria Flash Interna. Si usamos TOS y una simple tarjeta MPR podremos lograr configuraciones capaces de funcionar al mismo tiempo con una aplicación de sensor y con el procesado de una red de radio comunicación.

MPR series, soportan entradas análogas mediante conectores de expansión, así como interfaces digitales I/O, de I2C. Las interfaces facilitan la conexión con una amplia variedad de periféricos externos.

3) **Waspmode**

Esta mota fue lanzada en el año 2009 por la empresa Libelium, fue dirigida a las WSN, presenta como un inconveniente la no compatibilidad con los sistemas operativos ContikiOS y TinyOS, por esta razón depende totalmente del soporte del fabricante, a pesar de esto presenta también beneficios los cuales describiremos en sus siguientes características:

- Microcontrolador: Atmega1281
- Frecuencia: 14,74 MHz
- Memoria RAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Tarjeta SD: 2GB
- Memoria Flash: 128 KB
- Peso: 20 g
- Dimensiones: 73.5 x 51 x 13 mm
- Voltaje de la Batería: 3.3 a 4.2V
- USB de carga: 5V – 480 mA
- Carga del panel solar: 6 - 12 V – 330 mA

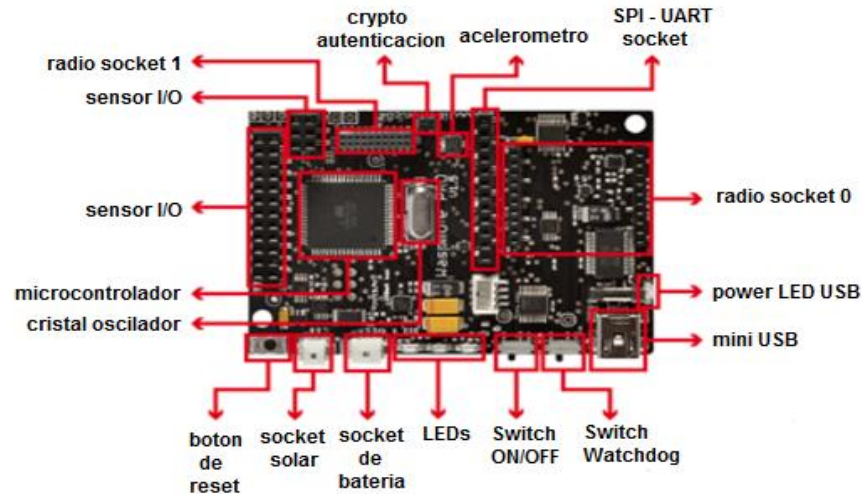


Figura 2. 19 Mota Waspmote
Fuente: <http://www.libelium.com/>

4) Re-Mote Zolertia

Es la última mota que la empresa Zolertia lanzó al mercado este 2016, tiene las mejores características del Z1, pero mejora en diferentes aspectos que mencionaremos a continuación.

- Microcontrolador CC2538 ARM
- Banda de frecuencia 2.4 Ghz
- Flash programable de 512Kb
- Memoria RAM de 32KB
- Soporta tarjetas MicroSD hasta 2Gb

Capítulo III

Desarrollo de la Propuesta

3.1 Caso de estudio

Aquí ubicaremos el área geográfica correspondiente donde aplicaremos nuestra red de sensores inalámbricos, la cual está comprendida en uno de los distritos principales de la ciudad de Arequipa que cuenta con aproximadamente 830034 habitantes.

Actualmente nuestra ciudad como provincia tiene una superficie de 10,430.12 Km², y está constituida por 29 distritos Municipales los cuales son: Alto Selva Alegre, Arequipa, Cayma, Cerro Colorado, Characato, Chiguata, Jacobo Hunter, Jose Luis Bustamante y Rivero, La Joya, Mariano Melgar, Miraflores, Mollebaya Paucarpata, Pocsi, Polobaya, Quequeña, Sabandia, Sachaca, San Juan de Sigwas, San Juan de Tarucani, Santa Isabel de Sigwas, Santa Rita de Sigwas, Socabaya, Tiabaya, Uchumayo, Vitor, Yanahuara, Yarabamba y Yura.

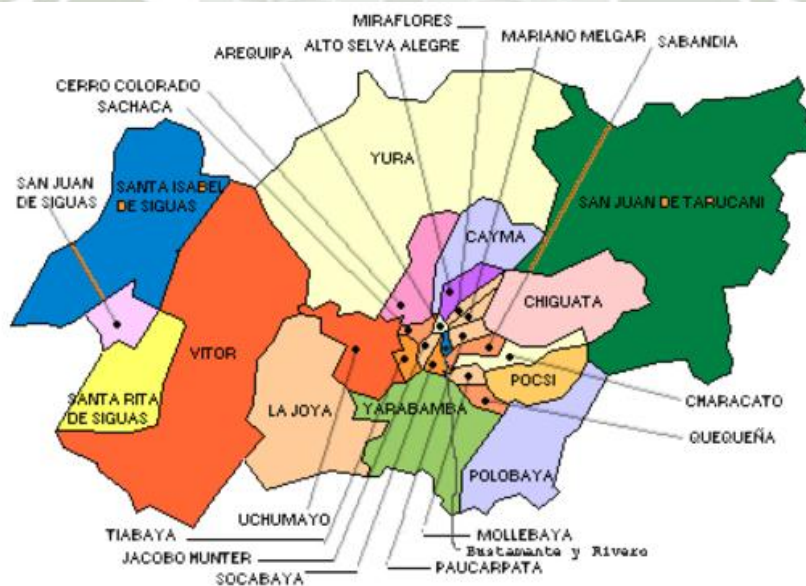


Figura 3. 1 Mapa de la Provincia de Arequipa

Fuente: <https://www.saludarequipa.gob.pe/>

3.1.1 Zona de Cobertura

Aquí desarrollaremos lo que busca nuestra propuesta, lo cual es la inserción de nuestra red de sensores inalámbricos, que en este caso tomaremos como referencia una zona residencial equivalente a una manzana del distrito de Mariano Melgar en la ciudad de Arequipa, ya que ésta se presenta con un mayor porcentaje en relación al tipo de Actividad Urbanística en el distrito, tal cual se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Tabla 3. 1
Actividad Urbanística

Tipo de Actividad Urbanística	Porcentaje
Residencial	72%
Comercial	14%
De Servicio	12%
Industrial	2%

Fuente: Elaboración Propia

Actualmente Mariano Melgar cuenta con una población de aproximadamente 52144 habitantes, este porcentaje lo hace ubicar en el puesto 8 de los 109 distritos que hay en el departamento de Arequipa en relación a la cantidad poblacional y a su vez representa un 4,5252 % de ésta.

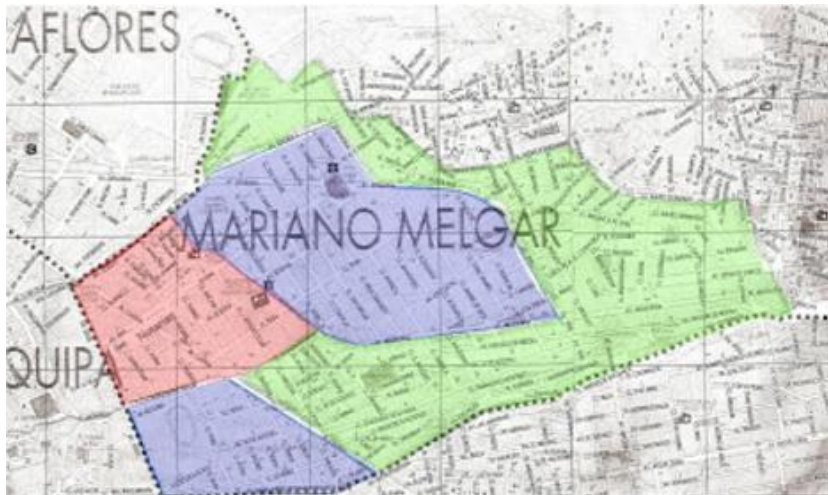


Figura 3. 2 Distrito de Mariano Melgar
Fuente: <http://arequipadistritos.blogspot.pe>

3.1.2 Ubicación

Mariano Melgar se encuentra ubicado en el Nor-este de la ciudad de Arequipa a 4 km, de la Plaza de Armas a $16^{\circ}23'44''$ latitud Sur y a $71^{\circ}32'11''$ longitud Oeste. Se encuentra a la altura de 2,335 a 2,370 msnm. Los límites del Distrito son: por el sur con el distrito de Paucarpata, desde el cruce de la torrentera con la Av. Jesús, siguiendo la segunda torrentera hasta sus finales en Cerro Gordo; por el este con el Distrito de Chiguata en las márgenes del Cerro Gordo y el Cerro San Cristóbal; por el oeste con el cercado de Arequipa, en la Av. Jesús desde la primera cuadra hasta el cruce con la segunda torrentera. La figura 3.3 nos da un alcance respecto a la distancia y ubicación en la cual se desarrollará el proyecto, localizado en el distrito de Mariano Melgar.



Figura 3. 3 Zona de Estudio
Fuente: Google Earth

3.1.3 Beneficiados

Beneficiar a la sociedad es uno de los principales meollos en este caso de estudio, siendo en este caso las personas que concurren en la residencial ya sean peatones, pasajeros, vecinos de la zona aledaña, etc.

3.2 Descripción del modelo propuesto

En este punto detallaremos las características más resaltantes de nuestro sistema:

- Cuando detecta el nodo sensor el movimiento de una persona automáticamente la luminosidad del foco LED aumenta a un 100% y cuando no detecta movimiento se reduce al 50% gradualmente.
- Las luminarias gracias a los nodos sensores se encenderán cuando este por anochecer o cuando detecte que la luz en una zona es insuficiente como puede ser, en días nublados, lluviosos y se apagarán a la salida del sol de forma autónoma.

- Las tecnologías de redes de sensores inalámbricos nos permitirán gestionar las luminarias de forma independiente y conjunta desde un lugar centralizado y remoto.
- Al controlar cada punto de iluminación de forma remota, se podrá monitorizar las luminarias (consumo energético) y detectar problemas en ellas de forma rápida y precisa.

3.3 Propuesta del sistema de iluminación inteligente

3.3.1 Distribución de los nodos

Los nodos serán ubicados en los postes de alumbrado público, su topología será tipo árbol para la fiabilidad, escalabilidad y disponibilidad de la red, todos los nodos enviarán la información hacia el enrutador de frontera, que será el encargado de centralizar la información para luego ser enviada hacia el exterior para una gestión eficiente.

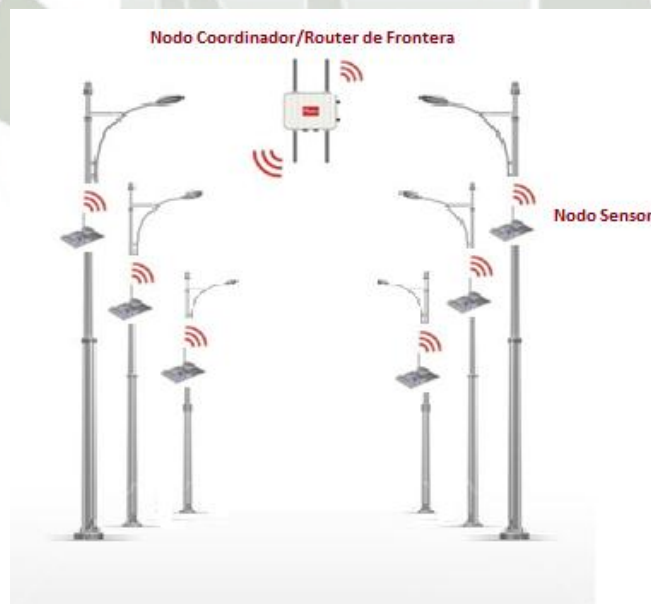


Figura 3. 4 Distribución de los nodos
Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Criterio de Selección de la Tecnología de Comunicación

Se elegirá la tecnología más adecuada para nuestro sistema de iluminación inteligente. Para ello haremos una comparación en la siguiente tabla:

Tabla 3. 2
Características de estándares de comunicación

Estándar	Banda de frecuencia	Velocidad de bajada	Velocidad de subida	Distancia
Wi-Fi(802.11/a/b/g/n)	2.4Ghz/5Ghz	1-100Mbps	1-100Mbps	Varios Km
GPRS	850/900/1800/1900 Mhz	80 kbps	20 kbps	Varios Km
EDGE	850/900/1800/1900 Mhz	236 kbps	59 kbps	Varios Km
3G (UMTS)	2100/1900/900Mhz	64-384 kbps	64-384 kbps	Varios Km
3.5G (HSDPA)	2100/1900/900/850 Mhz	7.2Mbps	7.2 Mbps	Varios Km
4G LTE	2100/1900/1700Mhz	75Mbps	25Mbps	Varios Km
IEE 802.15.4	2.4Ghz	250Kbps	250kbps	100m

Fuente: Elaboración propia

El estándar más conveniente para la comunicación del nodo coordinador hacia la plataforma final de recolección y administración es la 4G (LTE), que es una tecnología conocida mundialmente, nos ofrece buenas tasas de transmisión de datos y la cobertura es de hasta 95% en las principales ciudades de diversos países.

Tabla 3. 3
Protocolos para las WSN

	Zigbee	6LowPan	Bluetooth BLE
Banda de frecuencia	2.4 GHZ,915 MHZ, 868Mhz	2.4GHz	2.4Ghz
Distancia	500m	200m	50m
Tasa de transmisión	250 kbps	200 kbps	1Mbps
Multi-salto	Si	Si	No
TCP/IP	No	Si	No

Fuente: Elaboración propia

Para la comunicación entre los nodos sensores y enrutadores escogeremos el estándar 6LowPan, este implementa los protocolos UDP y TCP lo cual nos permite conectar el estándar IEEE 802.15.4 de manera directa a dispositivos TCP/IP, que es el estándar de internet.

Esto nos permitirá ingresar de manera directa desde un celular o pc a un nodo específico, para su reprogramación. Además, nos estará encaminando al Internet de las Cosas (IoT), en donde cada objeto deberá tener una identificación única para interactuar con el entorno, lo cual nos ofrece el estándar 6LowPan.

3.3.3 Elección de Motas y Sensores

3.3.3.1 Motas.

A continuación, mostraremos un cuadro comparativo entre las diversas motas comerciales mencionadas en anteriores capítulos, resaltando sus características más importantes:

Tabla 3. 4
Cuadro comparativo de motas

	Z1	Re-Mote	Mica2	Mica2dot	Waspnote
Chip	MSP430F216 7	CC2538ARM	ATmega128L		ATmega128 L
RAM	8Kb	32Kb		4Kb	8Kb
Memoria Externa	N/A	2Gb		512Kb	2Gb
Memoria Flash	96Kb	512Kb		128Kb	128kb
Banda de Frecuencia	2.4Ghz	2.4Ghz	868/916/433/315MHz		2.4Ghz
Encriptación	No	Si		No	No
Voltaje en Operación	2.7 - 3.3 V	3.3-16 V		2.7 - 3.3 V	3.3 – 4.2 V

Fuente: Elaboración propia

Elegiremos para nuestra propuesta la mota Re-Mote de Zolertia porque soporta los protocolos más importantes de redes de sensores inalámbricos como son IEEE 802.15.4, Zigbee y 6LowPan, nos ofrece puertos de entrada y salida en donde se puede ir agregando diferentes sensores u otras tecnologías de acuerdo a las necesidades que se nos presente, además soporta los 2 principales sistemas operativos de la WSN que son ContikiOS y TinyOS, lo cual la hace ideal para desarrollar nuevos prototipos gracias a su flexibilidad de hardware y software.



Figura 3. 5 Mota Re-Mote Zolertia
Fuente: <http://zolertia.io/>

Cuenta con una memoria externa que puede guardar información necesaria en caso de que el nodo falle, para su reprogramación o almacenamiento de datos del entorno sensorizado para su posterior envío hacia los nodos enrutadores o coordinadores.

Tiene un sistema de encriptación AES-128/156 y generación de llaves para la autenticación ECC-128/256, lo que lo hace muy versátil para el manejo de la información en los nodos.

3.3.3.2 Sensores para las motas.

Las motas estarán integradas con sensores de movimiento, fotoeléctricos, de corriente, estos harán que las motas interactúen con el entorno y tomen las medidas necesarias de acuerdo a los parámetros establecidos anteriormente. A continuación, veremos los sensores que vamos a utilizar en nuestro diseño

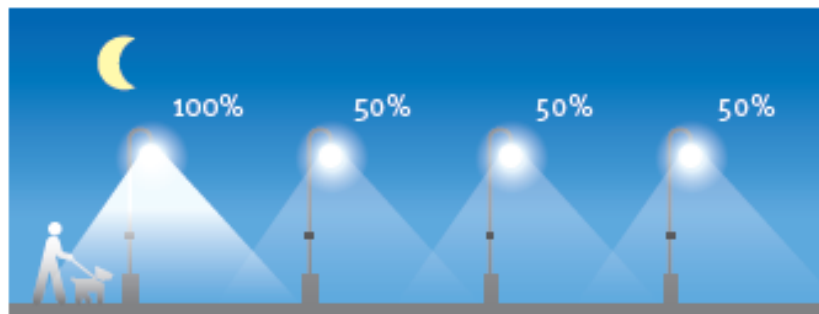
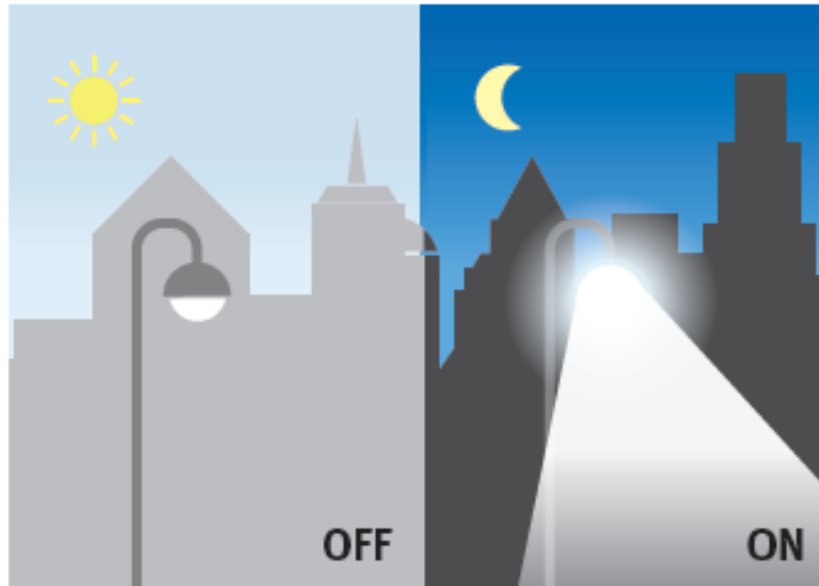


Figura 3. 6 Funcionamiento de los sensores
<http://www.schreder.com/>

1) Sensor fotoeléctrico ZIG 002

El sensor fotoeléctrico es uno de los sensores más populares en relación con las redes de sensores inalámbricos. Este sensor es ampliamente utilizado en aplicaciones de baja potencia, ya que permite al usuario medir la cantidad de luz que llega al sensor para poder optimizar el consumo del sistema en diferentes circunstancias. El ejemplo más simple es una lámpara que se enciende cuando cae la noche y viceversa.

Este Ziglet puede medir un rango de 0,1 lux (luna llena en noche clara) a 40,000 lux (luz solar directa) con una respuesta aproximada del ojo humano.

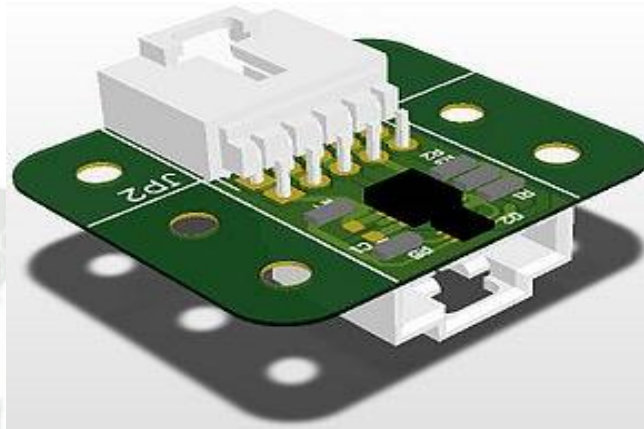


Figura 3. 7 Sensor de Luz ZIG 002
Fuente: <http://zolertia.sourceforge.net/>

2) Sensor de Movimiento MS-320LP

Este sensor de movimientos por infrarrojo, es un módulo pasivo de baja potencia proporcionado por IR-TEC (empresa especializada en fabricación de sensores inalámbricos). Este módulo es capaz de detectar el movimiento humano dentro de 90° de gran angular, rango de detección de 10m de largo. Es un módulo de sensor de potencia extremadamente baja ideal para baterías o productos con energía solar.



Figura 3. 8 Sensor de Movimiento MS-320LP
Fuente: <http://zolertia.sourceforge.net/>

3) Sensor de Corriente de 30 Amperios AC & DC

Este sensor mide corriente AC hasta 30 amperios y corriente continua de -30Amps a +30Amps. Este sensor nos permitirá medir el gasto de energía de cada poste de iluminación de una manera rápida y efectiva.



Figura 3. 9 Sensor de corriente
Fuente: <http://www.distech-controls.com/>

3.3.4 Enrutador de Frontera y Plataforma de Administración

Proponemos como hardware el enrutador de frontera inRout de Zolertia, tiene las siguientes características:

- Soporta las bandas de frecuencia 2.4Ghz/863Mhz/950Mhz
- Puede ser alimentado por USB o Ethernet
- Soporta los estándares 6LowPan/IPV6/IPV4



Figura 3. 10 Enrutador de frontera inRout
Fuente: <http://zolertia.io/>

Además, este hardware está implementado con 6LBR que está basado en el sistema operativo ContikiOS y desarrollado por CECTIC, en nuestro sistema de iluminación inteligente es el encargado de traducir los paquetes IPV6/IPV4 de una red externa como internet en paquetes 6LowPan o viceversa. Este Router de frontera hace que podamos enviar información hacia los nodos y gestionar nuestra red de sensores desde redes externas como internet de una manera rápida y centralizada.

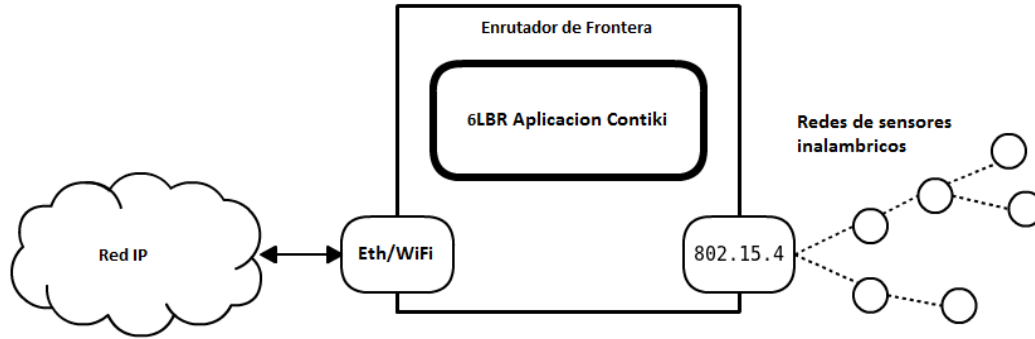


Figura 3. 11 Arquitectura de 6LBR
Fuente: <https://github.com>

La interfaz que nos ofrece 6LBR, es una interfaz gráfica amigable en donde se puede configurar, administrar y monitorizar toda nuestra red de sensores inalámbricos de una manera centralizada.

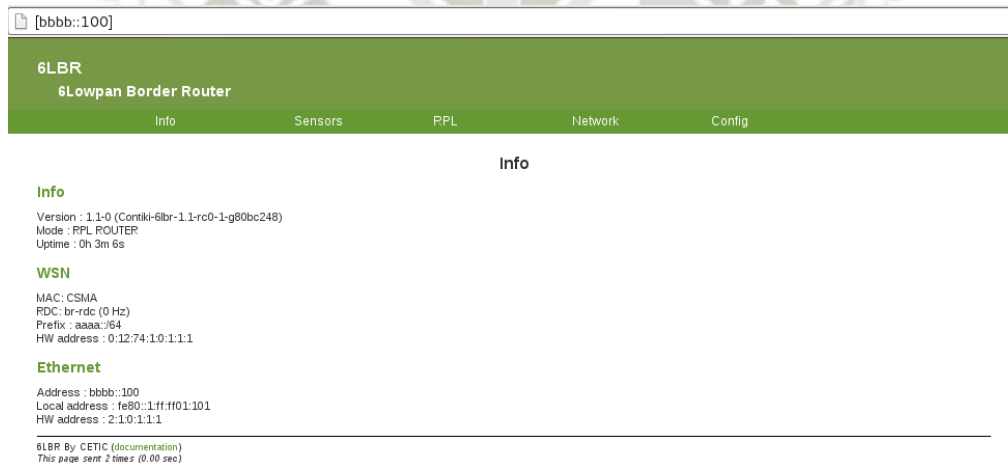


Figura 3. 12 Interfaz de administración 6LBR
Fuente: Elaboración Propia

3.3.5 Sistema operativo para los nodos

Utilizar como sistema operativo el ContikiOs sobre nuestras motas es mejor porque nos ofrece la posibilidad de trabajar con Protothreads y de forma nativa con 6LowPan sin necesidad de configuraciones adicionales como podría ser el caso de Arduino con WSN, ya que la plataforma Arduino no nos ofrece un sistema operativo, además de tener que instalar la mota a

la placa Arduino nos consume mucha más energía para su funcionamiento, y una de las características de las WSN es el bajo consumo de energía.

Tabla 3. 5
Comparación de Sistemas Operativos

	ContikiOs	TyniOs
Entorno de desarrollo	No necesita configuración	Necesita Pre- configuración
Arquitectura	Protothreads	Simulación de hilos
Sistema Operativo	Dinámico y Modular	Estático y monolítico
Lenguaje de Programación	C	nesC
6LowPan	De forma nativa	Necesita Módulos
Programación	En eventos	En eventos
Simuladores	Cooja	TOSSIM

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, las motas utilizarán el sistema operativo ContikiOS, ya que es totalmente compatible con los estándares IPV4/IPV6 y con los estándares inalámbricos de bajo consumo 6LowPan, RPL, IEEE 802.15.4, es un software de código abierto y cuenta con una comunidad activa de desarrolladores. A continuación, mostraremos los pasos a seguir para instalar ContikiOS.

- 1) Descargar ContikiOS.
- 2) Descargar VMWare Player para virtualización.
- 3) Después de haber instalado VMWare, ir a la carpeta en donde se descargó ContikiOS y dar click en Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit para virtualizar.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo
caches	24/08/2015 07:09	Carpeta de archivos
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit	22/11/2016 15:04	VMware Virtual Machine nonvolatile RAM
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit	22/11/2016 13:33	VMware virtual disk file
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit	24/08/2015 06:52	VMware snapshot metadata
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit	22/11/2016 15:04	VMware virtual machine configuration
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit	28/09/2016 17:48	VMware Team Member
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit-s001	22/11/2016 15:04	VMware virtual disk file
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit-s002	22/11/2016 15:04	VMware virtual disk file
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit-s003	22/11/2016 15:04	VMware virtual disk file
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit-s004	22/11/2016 15:04	VMware virtual disk file
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit-s005	22/11/2016 15:04	VMware virtual disk file
Instant_Contiki_Ubuntu_12.04_32-bit-s006	25/08/2015 03:04	VMware virtual disk file
vmware	22/11/2016 15:04	Documento de texto
vmware-0	20/11/2016 21:43	Documento de texto
vmware-1	20/11/2016 19:02	Documento de texto
vmware-2	28/09/2016 17:48	Documento de texto

Figura 3. 13 Interfaz de administración 6LBR
Fuente: Elaboración Propia

- 4) Una vez virtualizado nos aparecerá la siguiente ventana, donde la contraseña es “user”

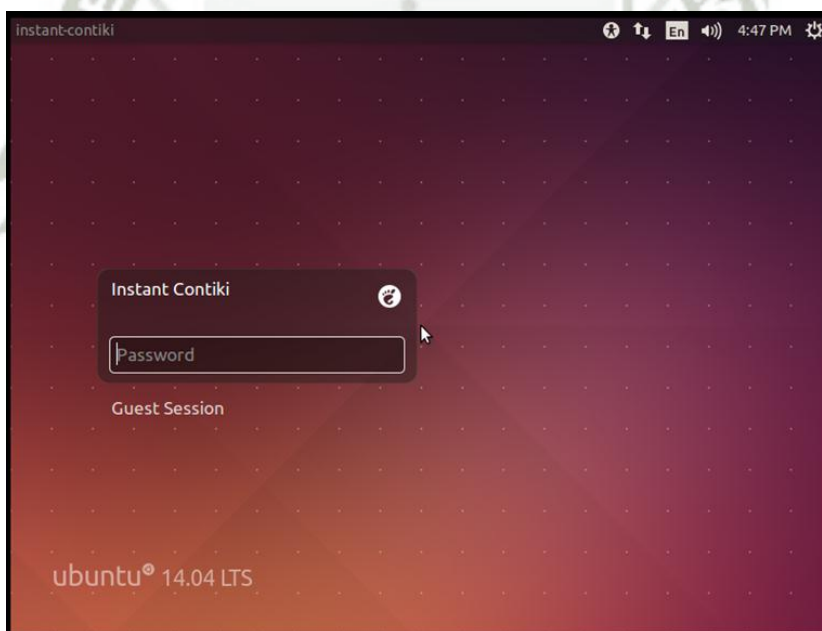


Figura 3. 14 Interfaz de ingreso a ContikiOS
Fuente: Elaboración Propia

- 5) Para poder utilizar el simulador Cooja abrir terminal y escribir “cd contiki/tolos/cooja” para entrar a la dirección donde se encuentra Cooja, luego escribir “ant run” para ejecutar la aplicación.

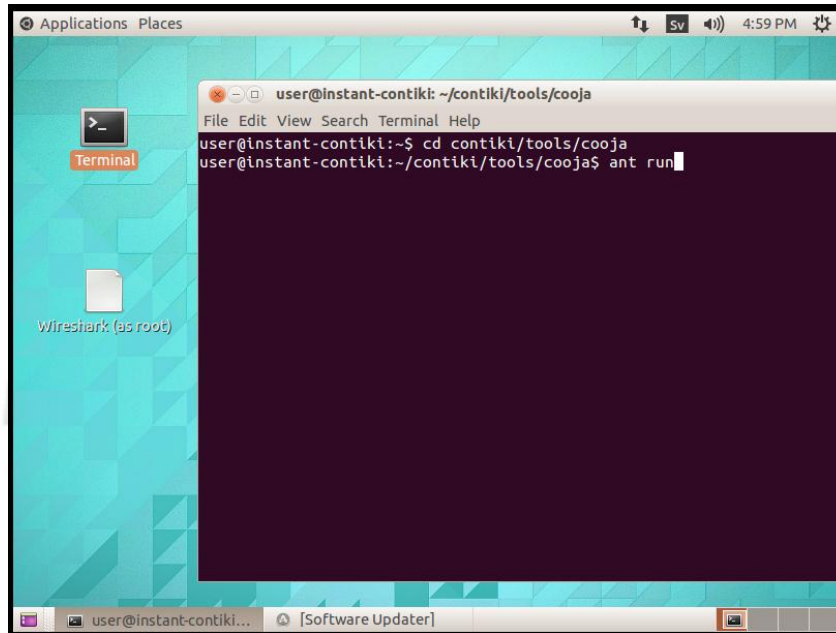


Figura 3. 15 Comandos para compilar Cooja
Fuente: Elaboración Propia

- 6) Para hacer una simulación ir a File/New Simulation/Create

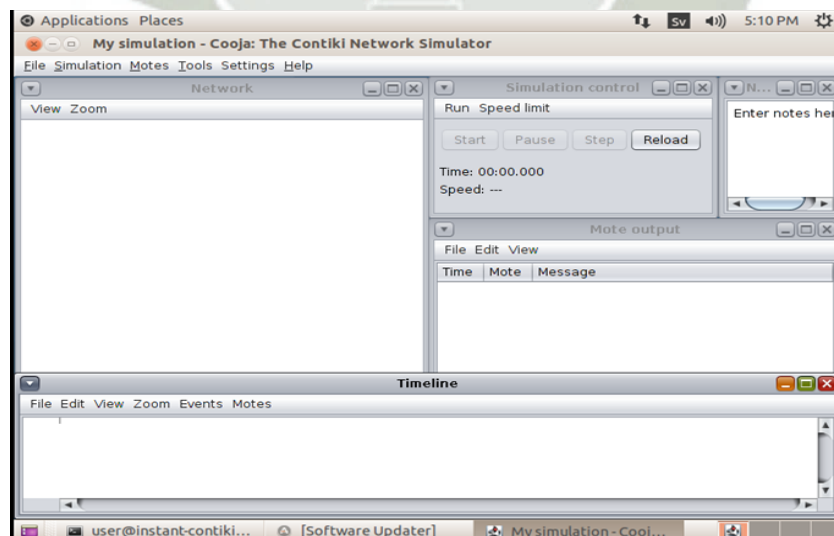


Figura 3. 16 Interfaz para la simulación de WSN
Fuente: Elaboración Propia

3.3.6 Simulación de nuestra WSN

- 1) Simulación de los 30 postes, siendo el nodo 1 el “Border Router RPL”, que nos permitira enrutar hacia el exterior lo que captan los sensores.

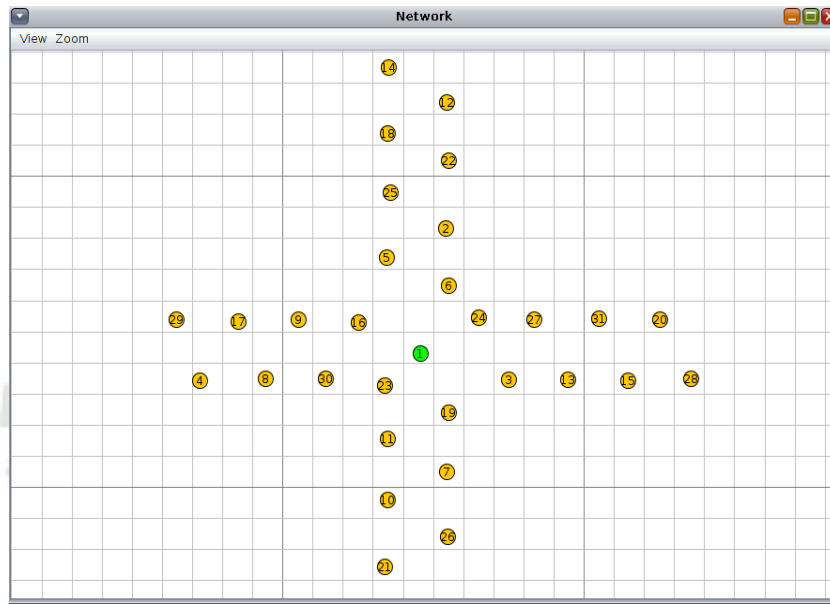


Figura 3. 17 Simulación del Proyecto
Fuente: Elaboración Propia

- 2) Nos conectamos al “RPL-Border-Router” con el comando “make connect-router-cooja”

```

user@instant-contiki: ~/contiki/examples/ipv6/rpl-border-router
File Edit View Search Terminal Help
user@instant-contiki:~$ cd contiki/examples/ipv6/rpl-border-router
user@instant-contiki:~/contiki/examples/ipv6/rpl-border-router$ make connect-rou
ter-cooja
    
```

Figura 3.17 Comandos para conectarnos al Enrutador de Frontera
Fuente: Elaboración Propia

3) Inicializamos la simulación de los nodos

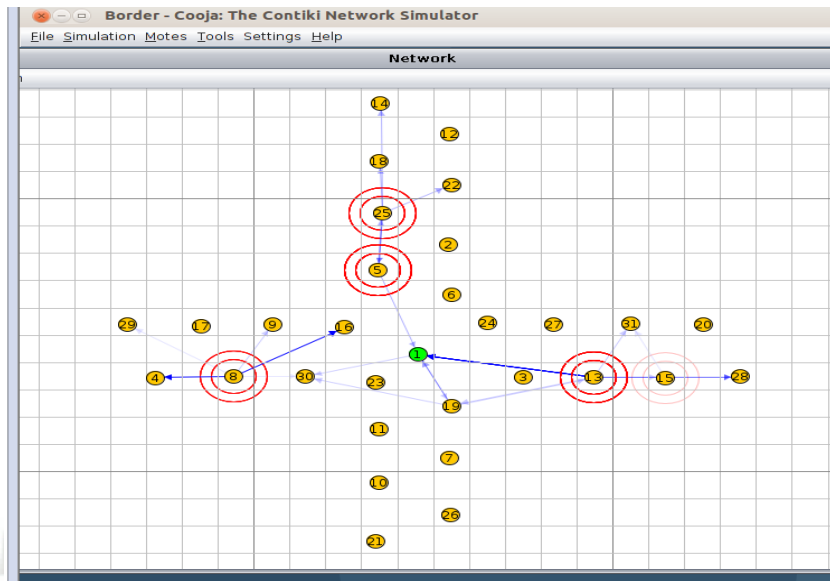


Figura 3. 18 Inicio de Simulación
Fuente: Elaboración Propia

4) Escribimos en el navegador la dirección IPV6 de nuestro router de frontera, el cual nos muestra todos los nodos que son sus vecinos y los que enruta desde otros nodos.

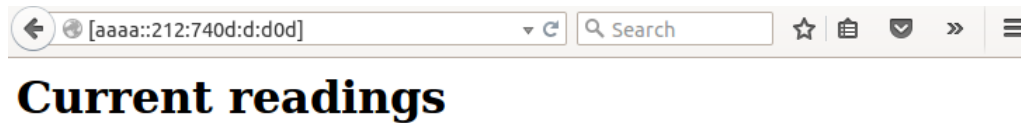
```

Neighbors
fe80::212:7413:13:1313
fe80::212:7402:2:202
fe80::212:7417:17:1717
fe80::212:7418:18:1818
fe80::212:741e:1e:1e1e
fe80::212:7407:7:707
fe80::212:7405:5:505
fe80::212:740b:b:b0b
fe80::212:7410:10:1010
fe80::212:7403:3:303
fe80::212:7409:9:909
fe80::212:7406:6:606
fe80::212:741b:1b:1b1b
fe80::212:740d:d:d0d
fe80::212:740a:a:a0a

Routes
aaaa::212:740e:e:e0e/128 (via fe80::212:7405:5:505) 16711422s
aaaa::212:741c:1c:1c1c/128 (via fe80::212:7403:3:303) 16711420s
aaaa::212:7414:14:1414/128 (via fe80::212:741b:1b:1b1b) 16711418s
aaaa::212:740d:d:d0d/128 (via fe80::212:7403:3:303) 16711417s
aaaa::212:741f:1f:1f1f/128 (via fe80::212:7418:18:1818) 16711414s
aaaa::212:7404:4:404/128 (via fe80::212:741e:1e:1e1e) 16711412s
aaaa::212:7408:8:808/128 (via fe80::212:741e:1e:1e1e) 16711412s
aaaa::212:741d:1d:1d1d/128 (via fe80::212:741e:1e:1e1e) 16711411s
aaaa::212:7411:11:1111/128 (via fe80::212:7409:9:909) 16711410s
aaaa::212:7419:19:1919/128 (via fe80::212:7406:6:606) 16711410s
aaaa::212:7416:16:1616/128 (via fe80::212:7405:5:505) 16711410s
aaaa::212:7412:12:1212/128 (via fe80::212:7405:5:505) 16711408s
aaaa::212:7418:18:1818/128 (via fe80::212:7418:18:1818) 16711408s
aaaa::212:740c:c:c0c/128 (via fe80::212:7402:2:202) 16711408s
aaaa::212:7409:9:909/128 (via fe80::212:7409:9:909) 16711407s
aaaa::212:740f:f:f0f/128 (via fe80::212:7403:3:303) 16711407s
aaaa::212:7407:7:707/128 (via fe80::212:7407:7:707) 16711407s
aaaa::212:741e:1e:1e1e/128 (via fe80::212:741e:1e:1e1e) 16711407s
aaaa::212:740a:a:a0a/128 (via fe80::212:7417:17:1717) 16711407s
aaaa::212:741b:1b:1b1b/128 (via fe80::212:741b:1b:1b1b) 16711407s
    
```

Figura 3. 19 Nodo Enrutados por el Enrutador de Frontera
Fuente: Elaboración Propia

- 5) Podemos entrar directamente a los nodos solo con su dirección IP, y ver los datos en tiempo real de cada nodo para una fácil administración.



Light: 80
Temperature: 24° C

Figura 3. 20 Datos de un Nodo
Fuente: Elaboración Propia

3.3.7 Estudio de viabilidad del proyecto

3.3.7.1 Determinación de la viabilidad.

La viabilidad del presente proyecto se determinó en base a la recopilación de información seleccionada debidamente investigada en los organismos y lugares relacionados que intervienen en el estudio de este proyecto; por ejemplo, visitas continuas a la zona de estudio, que es donde se realizó el conteo de postes de alumbrado público, de aquí se investigó los consumos que estos realizan tanto en energía como su equivalente en nuevos soles, incluyendo su tiempo aproximado de encendido diario, a su vez la determinación del número de casas que se ubican en la zona de estudio con el fin de calcular a nivel global cuánto es el gasto combinado anual por parte de todas las familias que pertenecen a la residencial, así se realizó encuestas a cada familia perteneciente a dicha zona, recolectando datos relacionados a nuestro interés como es el cobro actual de la empresa SEAL (Sociedad Eléctrica del Sur Oeste), que es el organismo encargado de proveer energía a través de otro organismo generador de la misma (EGASA) hacia la zona residencial según nuestras averiguaciones.

3.3.7.2 Viabilidad Técnica.

Requerimientos para nuestro sistema inteligente

- 30 focos leds para poste de 30 watts (equivalen a 130 watts en luminarias de vapor de sodio)
- 30 sensores de movimiento MS-320LP
- 1 sensor fotoeléctrico ZIG 002
- 30 sensores de corriente de 30 amperios AC & DC
- 1 enrutador de frontera (Coordinador) inRout
- 1 mota remote Zolertia

3.3.7.3 Viabilidad Económica y Energética.

Aquí podremos apreciar mediante nuestro balance aproximado basado en datos exactos recolectados a lo largo de la investigación, esto nos permitirá dar a cuenta que tan factible económicamente y energéticamente es nuestro proyecto y como factor adicional la energía ahorrada se podría dirigir a zonas que necesitan este servicio básico en nuestra misma región.

Tabla 3. 6
Equipos, bienes y servicios

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Luminaria Led para Poste	30	S/. 350.00	S/. 10 500.00
Sensor de Corriente de 30 Amperios AC & DC	30	S/. 130.82	S/. 3 294.60
Sensor Fotoeléctrico ZIG 002	1	S/. 163.51	S/. 163.51
Sensor de Movimiento MS-320LP	30	S/. 147.15	S/. 4 414.50
Enrutador de Frontera InRout	1	S/. 695.22	S/. 695.22
Mota Remote Zolertia	30	S/. 277.97	S/. 8 339.10
Otros (instalaciones, etc)			S/. 800.00
TOTAL			S/. 28 206.93

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar, que la presente investigación tiene un presupuesto aproximado de S/. 28 206.93 nuevos soles, el cual será presentado posteriormente como posible proyecto innovador en la municipalidad de Mariano Melgar.

3.3.7.4 Gastos, Consumos y Comparaciones.

Actualmente los postes de alumbrado público consumen y gastan los siguientes valores:

- Consumo en watts actual; 100 watts
- Costo del kW; S/. 0.4991
- Pago mensual por servicio público; S/. 2.99

Cabe señalar que 1 kW equivale a 1000 watts.

- **Tecnología Actual – Vapor de Sodio**

Los siguientes datos que se aplican han sido recolectados y calculados para la cantidad de un poste de alumbrado público de vapor de sodio de 100 watts (0.1 kW), teniendo en cuenta que el tiempo de encendido aproximado es de 10 horas según SEAL.

$$0.1 \text{ kW} \times 10 \text{ horas} = 1 \text{ kW/h}$$

$$1 \text{ kW/h} \times 0.4991 \text{ soles} = 0.4991 \text{ soles}$$

De aquí podemos decir que el costo del poste de 100 watts de vapor de sodio en un día de 10 horas es de S/. 0.4991 nuevos soles.

A partir de aquí calculamos el gasto en 31 días y posteriormente en un año.

$$0.4991 \text{ soles} \times 31 \text{ días} = 15.47 \text{ soles}$$

$$0.4991 \text{ soles} \times 365 \text{ días} = 182.17 \text{ soles}$$

Esto nos dice que un poste de vapor de sodio actualmente en la zona de estudio está generando un gasto mensual de S/. 15.47 y uno anual de S/. 182.17 nuevos soles.

Ahora aplicaremos los valores encontrados para calcular el consumo en soles que generan 30 postes, que son los que se aplican en nuestro proyecto con el fin de encontrar el valor final anual de consumo por parte de esta tecnología convencional.

Por lo tanto, podemos decir que el gasto mensual y anual de 30 postes de vapor de sodio sería:

$$15.47 \text{ soles} \times 30 \text{ postes} = 464.10 \text{ soles}$$

$$182.17 \text{ soles} \times 30 \text{ postes} = 5465.10 \text{ soles}$$

- **Iluminación Inteligente con WSN**

A diferencia de la tecnología convencional, la tecnología innovadora de luces LED con WSN nos permite trabajar con otros parámetros por ejemplo en este caso para hacer nuestros respectivos cálculos tendremos que trabajar con un valor de consumo de 30 watts (0.03 kW), ya que este valor es su equivalente en rendimiento en los 100 watts que presentan las luces de vapor de sodio, englobando la idea vale decir que 30 watts de luces LED equivalen a 130 watts de luces de vapor de sodio. Para esto tendremos en cuenta que el tiempo de encendido aproximado para un poste de luz LED será el mismo o sea 10 horas por día.

$$0.03 \text{ kW} \times 10 \text{ horas} = 0.3 \text{ kW/h}$$

$$0.3 \text{ kW/h} \times 0.4991 \text{ soles} = 0.15 \text{ soles}$$

De aquí podemos decir que el costo del poste de 30 watts de luz LED en un día de 10 horas es de S/. 0.15 nuevos soles.

A partir de aquí calculamos el gasto en 31 días y posteriormente en un año.

$$0.15 \text{ soles} \times 31 \text{ días} = 4.65 \text{ soles}$$

$$0.15 \text{ soles} \times 365 \text{ días} = 54.75 \text{ soles}$$

Esto nos dice que un poste de luces LED en la zona de estudio estaría generando un gasto mensual de S/. 4.65 y uno anual de S/. 54.75 nuevos soles.

Ahora aplicaremos los valores encontrados para calcular el consumo en soles que generan 30 postes de luces LED con WSN, que son los que se aplicarían en nuestro proyecto con el fin de encontrar el valor final anual de consumo.

Por lo tanto, podemos decir que el gasto mensual y anual de 30 postes de luces LED sería:

$$4.65 \text{ soles} \times 30 \text{ postes} = 139.50 \text{ soles}$$

$$54.75 \text{ soles} \times 30 \text{ postes} = 1642.50 \text{ soles}$$

Finalmente, de aquí podremos calcular el gasto reducido final mensual y anual respectivamente que haría cada familia si se implementara el presente proyecto, esto lo calculamos dividiendo los valores hallados entre el número de familias de la siguiente forma:

$$139.50 \text{ soles} / 65 \text{ familias} = 2.15 \text{ soles}$$

$$1642.50 \text{ soles} / 65 \text{ familias} = 25.27 \text{ soles}$$

- **Iluminación Inteligente con WSN al 50%**

Como ya hemos mencionado anteriormente en la parte de descripción del modelo propuesto del presente capítulo, existe un caso en el que las luminarias reducen su intensidad a la mitad o sea al 50%, que es cuando no detecta ninguna clase de movimiento, de esta forma se reduce también el consumo que normalmente efectúa la luz LED al 50%, por esa razón es que consideramos importante hacer estos nuevos cálculos.

Entonces el valor de consumo que aplicaremos con el ahorro al 50% será de 15 watts (0.015 kW). Por lo tanto, podemos decir que:

$$0.015 \text{ kW} \times 10 \text{ horas} = 0.15 \text{ kW/h}$$

$$0.15 \text{ kW/h} \times 0.4991 \text{ soles} = 0.08 \text{ soles}$$

De aquí podemos decir que el costo del poste con el ahorro al 50% es de S/. 0.08 nuevos soles.

A partir de aquí calculamos el gasto en 31 días y posteriormente en un año.

$$0.08 \text{ soles} \times 31 \text{ días} = 2.48 \text{ soles}$$

$$+0.08 \text{ soles} \times 365 \text{ días} = 29.20 \text{ soles}$$

Esto nos dice que un poste de luces LED con el ahorro al 50% en la zona de estudio estaría generando un gasto mensual de S/. 2.48 y uno anual de S/. 29.20 nuevos soles.

Ahora aplicaremos los nuevos valores encontrados a partir de este nuevo caso, para calcular el consumo en soles que generan 30 postes de luces LED al 50%, en un mes y posteriormente en un año.

$$2.48 \text{ soles} \times 30 \text{ postes} = 74.40 \text{ soles}$$

$$29.20 \text{ soles} \times 30 \text{ postes} = 876.00 \text{ soles}$$

Finalmente, de aquí podremos calcular el gasto reducido final mensual y anual respectivamente que haría cada familia, esto lo calculamos dividiendo los valores hallados entre el número de familias de la siguiente forma:

$$876.40 \text{ oles} / 65 \text{ familias} = 1.15 \text{ soles}$$

$$876 \text{ soles} / 65 \text{ familias} = 13.48 \text{ soles}$$

- **Promedio de gasto energético con WSN**

Como valor agregado determinamos los valores promedios finales entre los casos internos que presenta, con respecto al tiempo de encendido en su estado normal y al 50%.

- ✓ Costo mensual del consumo de 30 postes:

$$(152.10 \text{ soles} + 74.40 \text{ soles}) / 2 = 113.25 \text{ soles}$$

- ✓ Costo anual del consumo de 30 postes:

$$(1642.50 \text{ soles} + 876.00 \text{ soles}) / 2 = 1259.25 \text{ soles}$$

- ✓ Pago mensual por cada casa:

$$(1.93 \text{ soles} + 1.15 \text{ soles}) / 2 = 1.54 \text{ soles}$$

- ✓ Pago anual por cada casa:

$$(25.27 \text{ soles} + 13.48 \text{ soles}) / 2 = 19.38 \text{ soles}$$

Después de un previo análisis a los diversos costos que producen tanto económica como energéticamente los postes de alumbrado público actuales en la zona de estudio,

podemos decir que los ahorros que se generarían al plazo de un año calendario serían de S/. 16.50 nuevos soles por parte de cada familia, lo que hacen un monto en conjunto aplicados para las 65 familias de S/. 1 072.50 nuevos soles, y energéticamente hablando de parte de los postes de alumbrado un ahorro de S/. 4 205.85, todo esto se generaría a partir de un capital de S/. 28 206.93 nuevos soles, como podemos observar a lo largo de los años estas cifras se incrementarían justificando el presupuesto invertido, sin mencionar los beneficios adicionales de iluminación y reducción de contaminación.



Capítulo IV

Pruebas y Validación

4.1 Evaluación de resultados

Criterios que se deben de evaluar para el correcto funcionamiento de la red de sensores inalámbricos.

4.1.1 Ahorro energético y económico

Ahorro energético y económico se hizo mediante una comparativa de los pagos que se realiza actualmente por el alumbrado público en la zona residencial de Mariano melgar con la tecnología de focos LED y redes de sensores inalámbricos.

La combinación de lámparas LED y redes de sensores inalámbricos nos dará un gran ahorro energético y económico. Se ahorrará un 70% en la zona residencial de Mariano Melgar con esta tecnología, porque nuestras luminarias interactuarán con el entorno, esto hará que la luz se encienda en el lugar y momento adecuado.

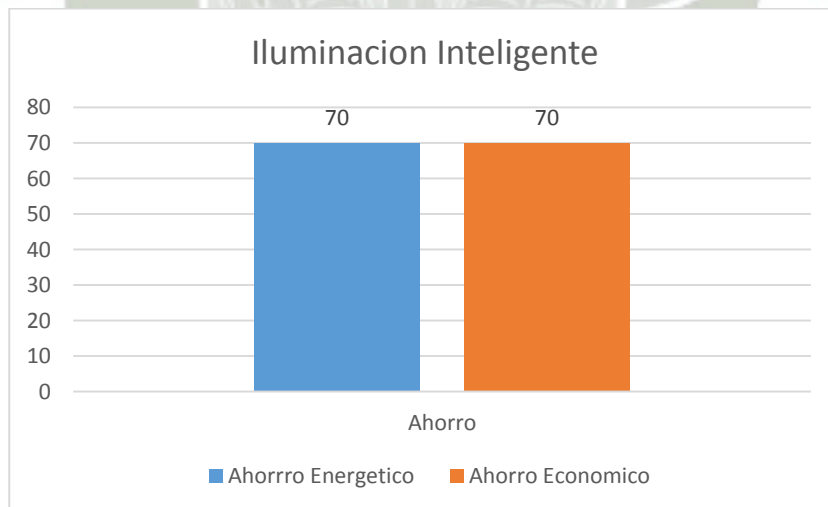


Figura 4. 1 Resultados de la Iluminación Inteligente
Fuente: Elaboración Propia

En el siguiente cuadro podemos apreciar que nuestro proyecto en todos los casos generaría un ahorro monetario considerable teniendo en cuenta que en el pasar de los años este ahorro podría aumentar lo cual amortizaría la inversión inicial con creces y como factor agregado menos emisiones de CO2 al medio ambiente, colaborando de esta forma con el planeta.

Tabla 4. 1
Ahorro Energético y Económico

	Tecnología Convencional	Tecnología Innovadora	Tecnología Innovadora al 50%	Promedio estado normal y al 50%	Ahorro Generado
Costo Mensual del consumo de 30 postes	S/. 464.10	S/. 152.10	S/. 74.40	S/. 113.25	S/. 350.85
Costo Anual del consumo de 30 postes	S/. 5465.10	S/. 1642.50	S/. 876.00	S/. 1259.25	S/. 4205.85
Pago Mensual por cada Casa	S/. 2.99	S/. 1.93	S/. 1.15	S/. 1.54	S/. 1.45
Pago Anual por cada Casa	S/. 35.88	S/. 25.27	S/. 13.48	S/. 19.38	S/. 16.50

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Gestión

La gestión se hizo mediante el enrutador de frontera, colocando la dirección IPV6 del enrutador de frontera en un explorador de internet se pudo obtener todos los nodos conectados a este y además de poder obtener los valores de los sensores de cada nodo ingresando directamente mediante su IP de una manera rápida y en tiempo real, esto permitirá monitorizar de forma rápida y precisa, controlar de forma independiente o conjunta, establecer parámetros de acuerdo a las necesidades de la residencial en las luminarias y si alguna luminaria se avería

mandará automáticamente un mensaje al sistema de gestión, después de varias pruebas se puede decir que la gestión es de un 100%.

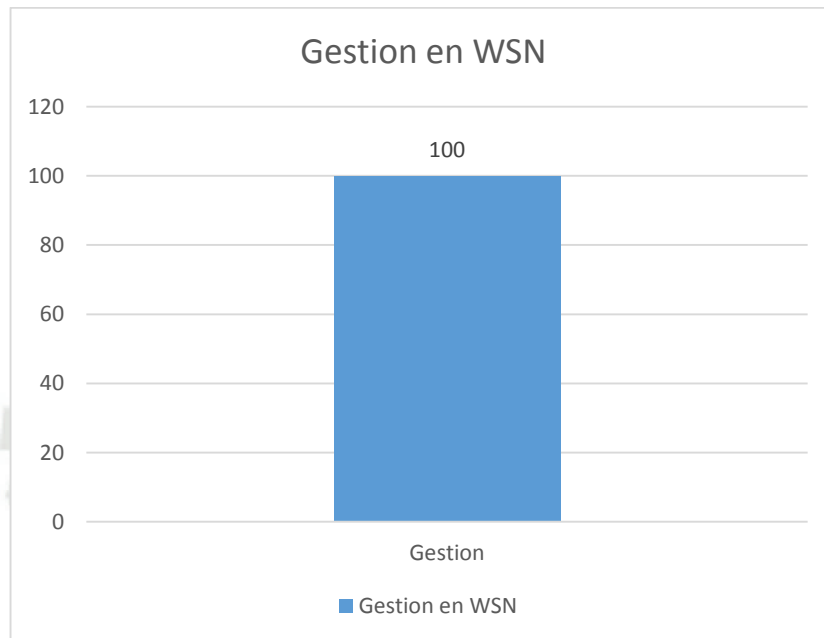


Figura 4. 2 Gestión de una WSN
Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Escalabilidad

Cuando se requiera agregar un nuevo nodo a la red de sensores inalámbricos, este se podrá agregar de una manera fácil y sin tener que volver a reconfigurar la estructura de la red, para así no comprometer el correcto funcionamiento y calidad de nuestra red.

La escalabilidad se pudo demostrar mediante varias simulaciones de nodos que ingresaban a la red del enrutador de frontera y como este los reconocía de forma automática sin necesidad de volver a reconfigurar toda la red.

Se puede ver que en un inicio el nodo 15 está separado de la red de sensores inalámbricos, esto lo tomaremos como si recién va a ingresar un nuevo punto de sensorización a la red.

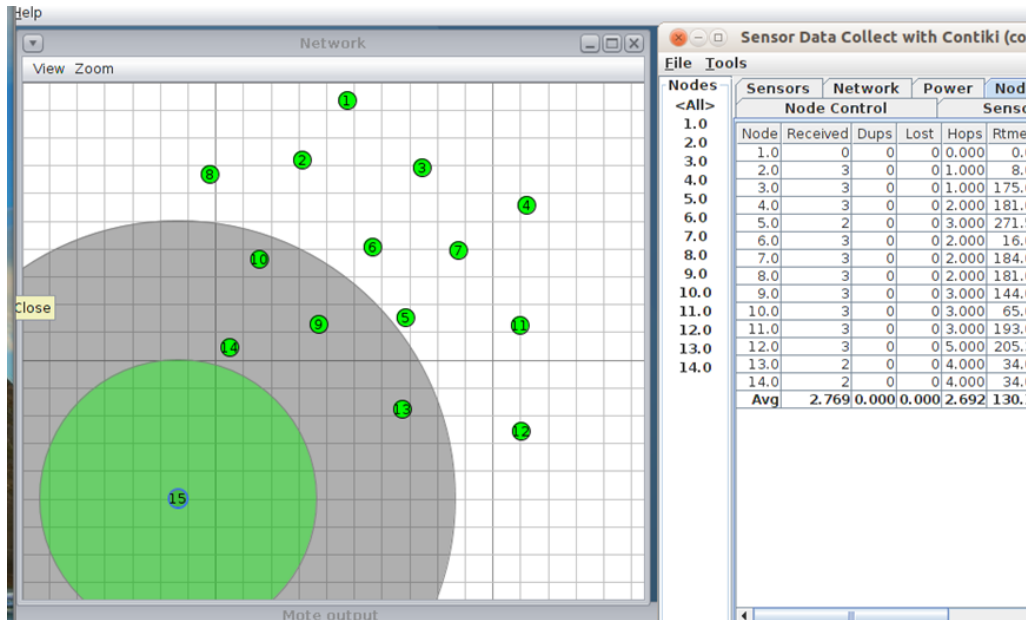


Figura 4. 3 Resultados de escalabilidad
Fuente: Elaboración Propia

Al incorporarlo a la red y ponerse en comunicación con un solo o con varios nodos de la red, el nodo recolector lo reconoce de manera automática al nodo 15.

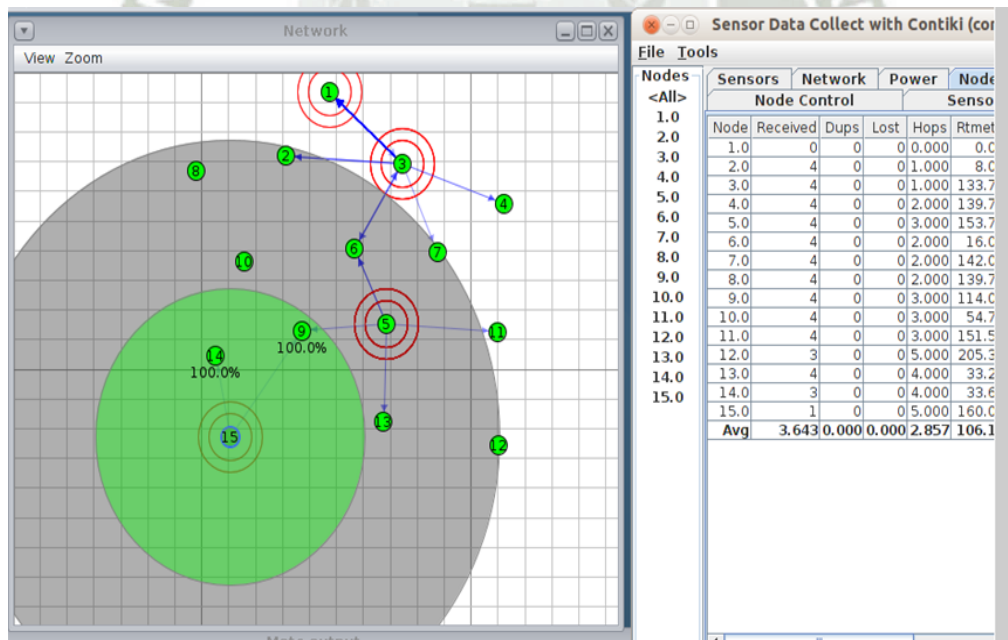


Figura 4. 4 Resultados de escalabilidad
Fuente: Elaboración Propia

Después de varias pruebas se puede decir que escalabilidad es de 100%.



Figura 4. 5 Resultados de Escalabilidad
Fuente Elaboración propia

4.1.4 Disponibilidad

Es el tiempo que estará en funcionamiento nuestra red de sensores inalámbricos. La disponibilidad de nuestra red dependerá del correcto funcionamiento de los nodos y del nodo coordinador. La prueba consiste en que la red se reorganice de manera autónoma si un nodo falla en concreto.

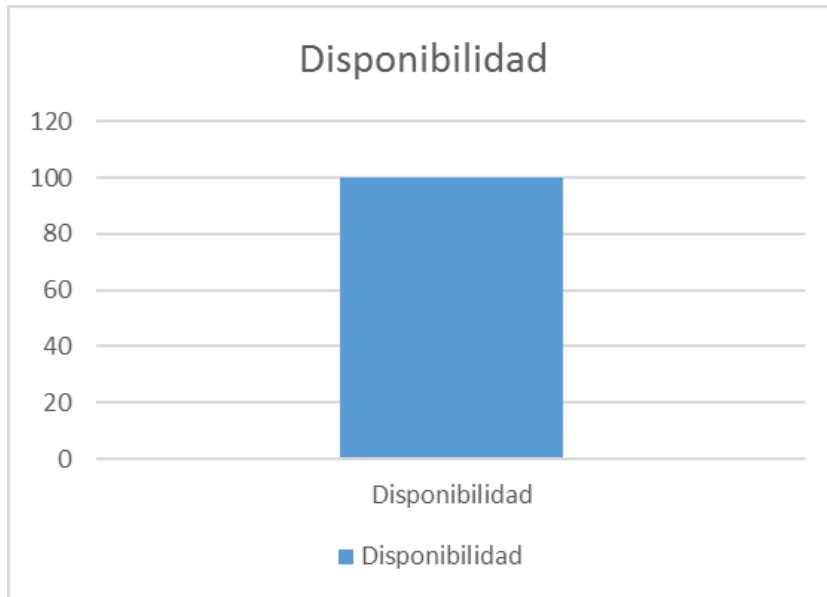


Figura 4. 6 Resultados de disponibilidad
Fuente: Elaboración Propia

Luego de varias pruebas en donde se sacaron y se incorporaron nodos a la red de sensores en el simulador cooja, se puede decir que la disponibilidad es de 100% porque los nodos buscan nuevos caminos de comunicación gracias a su topología en árbol, esto hace que el sistema de iluminación esté siempre disponible en todo momento.

4.1.5 Fiabilidad del envío de paquetes

Para comprobar la fiabilidad del envío de información, se comprobará la cantidad de paquetes recibidos y perdidos desde los diferentes nodos sensores hacia el nodo coordinador. Para ello hicimos varias simulaciones en Cooja en donde se colocaron diferentes nodos a distintas distancias respecto del nodo coordinador.

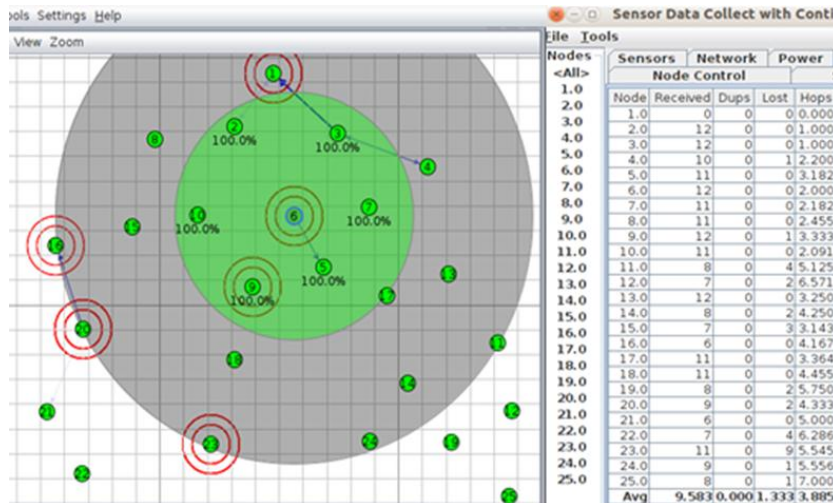


Figura 4. 7 Resultados de fiabilidad
Fuente: Elaboración Propia

Después de varias simulaciones podemos decir que, en promedio la pérdida de paquetes de los nodos que están más cerca al nodo coordinador es de 2% y mientras más alejado está un nodo sensor del nodo coordinador, la pérdida de paquetes es de un 15%, esto se puede deber a factores como congestión de la red y a los múltiples saltos que debe dar el paquete antes de llegar a su destino.

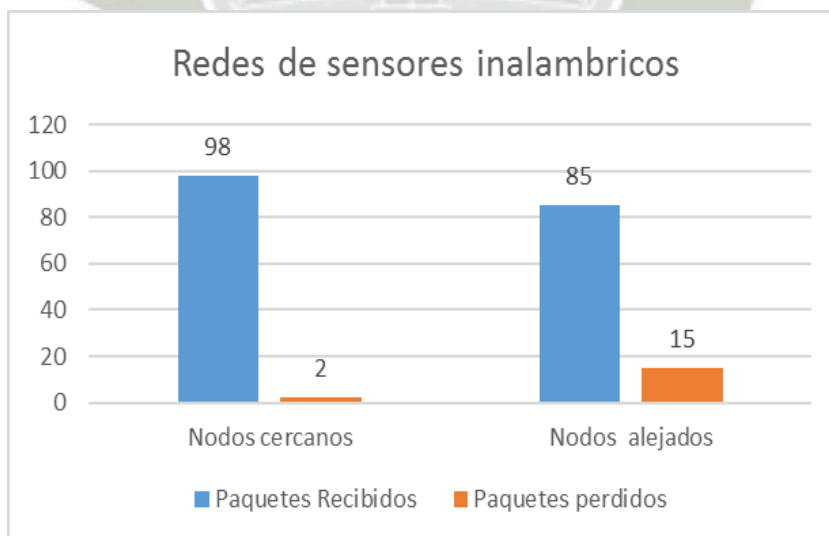


Figura 4. 8 Resultados de fiabilidad
Fuente: Elaboración Propia

4.1.6 Resultado de Encuestas de Ahorro de Energía

Se realizó una pequeña encuesta a unas 100 personas pertenecientes a la zona residencial con el fin de recabar información que demuestren y validen que actualmente es muy necesario contar con esta nueva tecnología ya que aparte de los beneficios ya mencionados anteriormente, mejoraría la calidad de vida de los usuarios que pertenezcan a la localidad que sea implantada esta red de sensores inalámbricos.

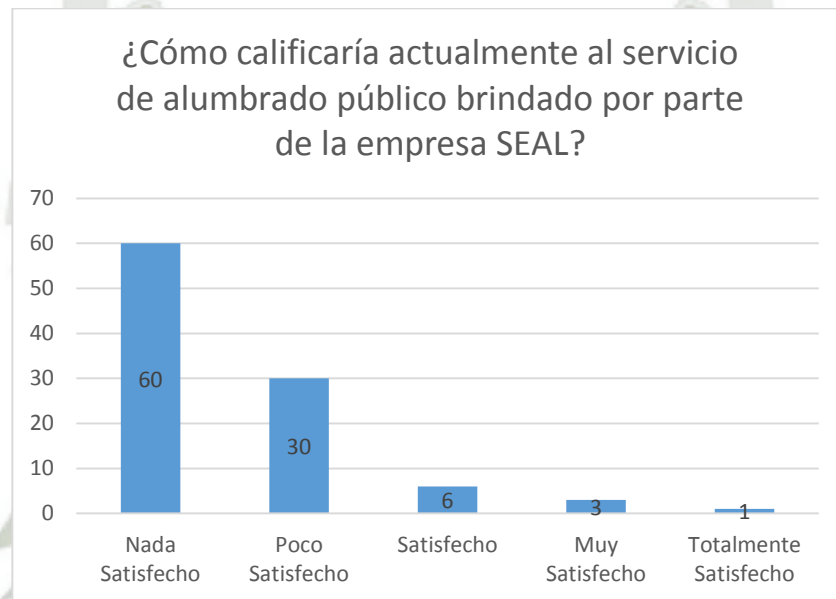


Figura 4. 9 Resultados de la Encuesta 1
Fuente: Elaboración Propia

El 60% de personas nos manifestaron que el servicio de alumbrado en su zona no es nada satisfactorio y presentan problemas de deficiencia como por ejemplo la baja iluminación y que en algunos casos ya hasta dieron de baja algunos postes, sin embargo, los cobros no bajan.

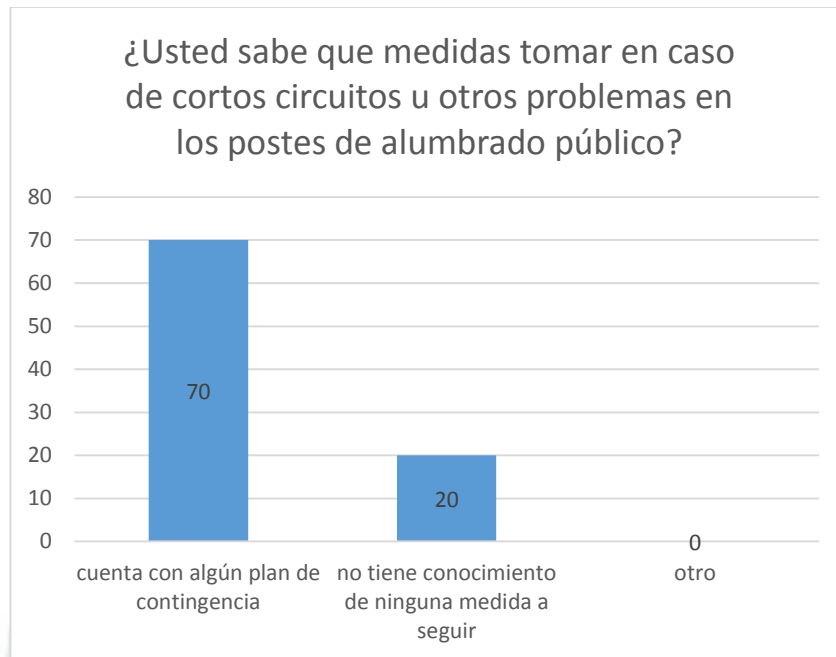


Figura 4. 10 Resultados de la Encuesta 2
Fuente: Elaboración Propia

El 70% afirma que no cuentan con ningún plan de contingencia tipo de en caso de suceder algún problema inesperado con los postes de las calles; aquí se pudo comprobar de alguna forma que una parte de nuestro proyecto resolvería este problema ya que el sistema inteligente de iluminación controla el alumbrado público desde un lugar remoto y en caso de generarse algún problema en este mismo, es detectado y reportado automáticamente a una central remota sin necesidad de un personal de mantenimiento.

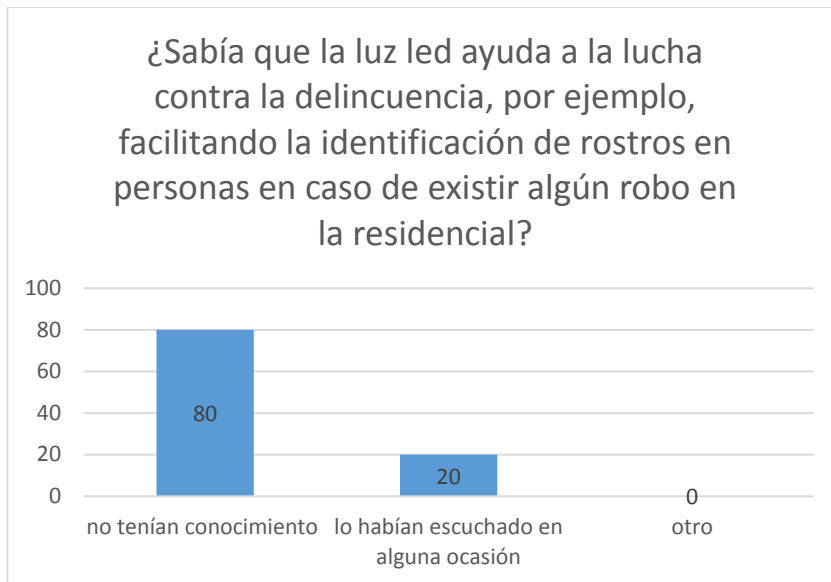


Figura 4. 11 Resultados de la Encuesta 3
Fuente: Elaboración Propia

Un 80% manifestó no tener conocimiento de esto y agregó que los robos no son regulares, pero en días festivos hay a veces robos en la residencial ya que es una zona de libre acceso a pesar de contar con rejas en sus 4 lados de ingreso; a su vez no tenían idea de que la luz led es capaz de identificar rostros con una mayor exactitud.

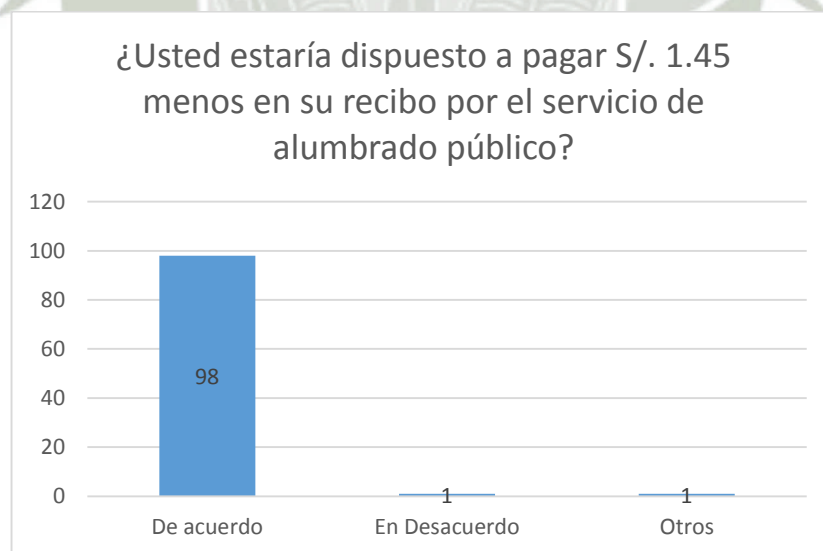


Figura 4. 12 Resultados de la Encuesta 4
Fuente: Elaboración Propia

El 98% de los usuarios pertenecientes a la residencial afirmaron estar de acuerdo en el cobro reducido que se generaría en caso de implementarse el presente proyecto.

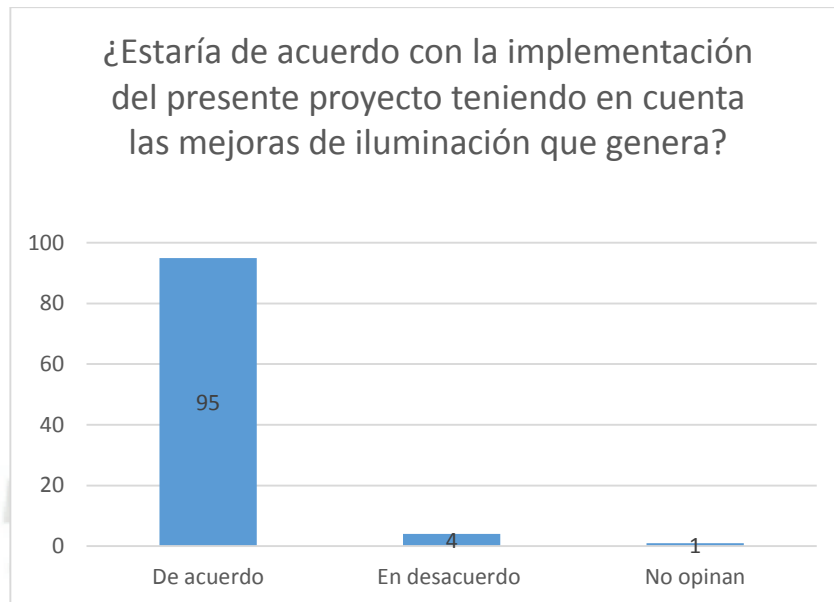


Figura 4. 13 Resultados de la Encuesta 5
Fuente: Elaboración Propia

El 95% nos manifestó estar de acuerdo con la implementación, ya que los beneficiados serían la municipalidad y las familias de la residencial.

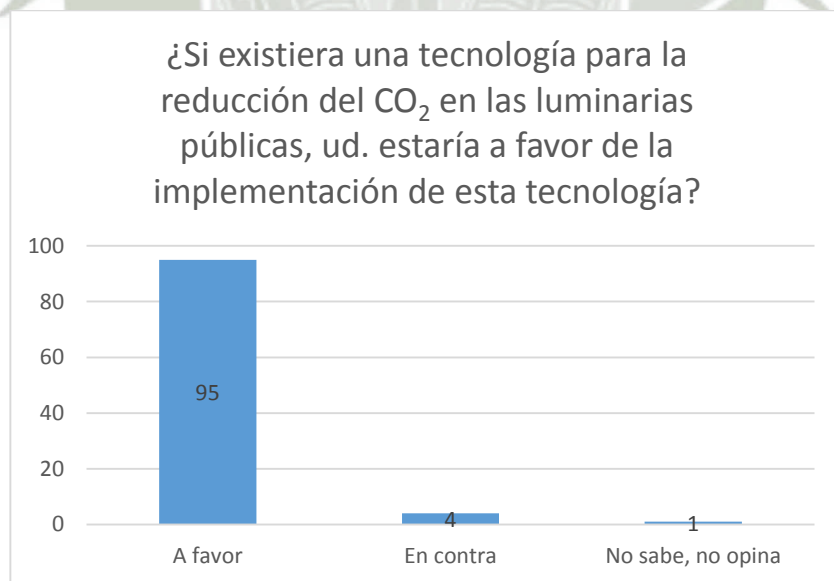


Figura 4. 14 Resultados de la Encuesta 6
Fuente: Elaboración Propia

El 95% de personas está a favor con esta tecnología porque será capaz de reducir las emisiones de CO2 al medio ambiente, que hoy es uno de los principales problemas de la humanidad según la OEFA.



Conclusiones

1. Utilizando Redes de Sensores Inalámbricos, se puede lograr una iluminación inteligente en la zona residencial del distrito de Mariano Melgar Arequipa.
2. El diseño de nuestra red inalámbrica de sensores satisface las necesidades para una iluminación pública inteligente, ya que es una red robusta y escalable, ideal para que en un futuro esta se pueda integrar al internet de las cosas (IoT).
3. El sistema de iluminación publico tradicional es beneficiado enormemente con la tecnología de redes de sensores inalámbricos, proporcionando luz en el lugar y momento adecuado, generando menor gasto energético, por lo que los costos a nivel usuario, de operación, y mantenimiento serán reducidos en un 50%.
4. Controlando cada punto de iluminación de forma remota con la tecnología de redes de sensores inalámbricos, se podrá monitorizar las luminarias y detectar problemas en ellas de forma rápida y precisa.

Recomendaciones

1. Se recomienda hacer un estudio más minucioso de la zona en donde se implementará, para así no incurrir en errores que puedan afectar al correcto funcionamiento de la Red de Sensores Inalámbricos.
2. Es indispensable aplicar los protocolos y tecnologías que se mencionan en este proyecto, para el correcto funcionamiento de toda la red.
3. Es factible que al momento de implementar este proyecto se revisen actualizaciones de software y hardware, que puedan beneficiar al desempeño de nuestra red.



Referencias Bibliográficas

- Aranzazu, C. & Moreno, G. (2009). *Revisión del Estado del Arte de Redes de Sensores Inalámbricos*. Recuperado de <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/130>
- Agenciasinc. (2011). *Sistema de Gestión Inteligente de Alumbrado*. Recuperado de <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Presentan-un-nuevo-sistema-de-gestion-inteligente-de-alumbrado-que-permite-ahorrar-hasta-un-80-de-energia>
- Bermudez Fernandez, A. (2014). *Especificación de un sistema de monitorización medioambiental para el lago Titicaca basado en redes inalámbricas de sensores*. Recuperado de http://www.dit.upm.es/~posgrado/doc/TFM/TFMs20132014/TFM_Ana_Belinda_Bermudez_2014.pdf
- Cama, A., De La Hoz, E. & Cama, C. (2012). *Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4869014.pdf>
- Cázarez Ayala, G., Duarte Valenzuela, A., Castillo Meza, H., Rodríguez Beltrán, A., Lugo Zavala, S. & Ramírez Montenegro, M. (2014). *Sistema de sensores inalámbricos para la implementación de espacios inteligentes*. Recuperado de www.redalyc.org/pdf/461/46131111002.pdf
- Cionca, V., Newe, T., Dadarlat, V. (2015). *Requisitos de protocolo TDMA para redes inalámbricas de sensores*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/4373292_TDMA_Protocol_Requirements_for_Wireless_Sensor_Networks

- Ciudadverde.lanacion. (2016). *Buenos Aires una ciudad con iluminación inteligente*. Recuperado de <http://ciudadverde.lanacion.com.ar/iluminacion-inteligente.html>
- Corti, R., Agostino, E., Giandomenico, E. & Martinez, R. (s.f). *Algoritmo de encaminamiento para redes de sensores inalámbricas utilizando técnicas de agregación*. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/21590/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Cryptoman (s.f). *Redes de Infraestructura y Redes Ad Hoc*. Recuperado de http://www.cryptoman.com/storage/Pubs/es/ntwk_guide/d0e3765.html
- Escolar, S. (s.f). *Estado de Arte e Investigación de WSN*. Recuperado de http://www.arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf
- Fernandez, R. et al. (2009). *Redes Inalámbricas de Sensores*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf>
- Gartner (2015). *Gartner Says Smart Lighting Has the Potential to Reduce Energy Costs by 90 Percent*. Recuperado de <http://www.gartner.com/newsroom/id/3093717>
- Garbarino, J. (2011). *Protocolos para redes inalámbricas de sensores*. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/7500/Garbarino.pdf>
- Herrera Chaves, D. (2011). *Uso de las redes de sensores en actividades de medición inteligente para la promoción del uso eficiente de la energía*. Recuperado de http://www.kugelelectronics.com.co/descargas/final_estadodelarte.pdf
- Herrera, C., González, F., Sá Silva, P. & Sá Silva, J. (2014). *Análisis y Evaluación de una Solución basada en IPv6 para Monitoreo de Calidad Ambiental en base a Redes Inalámbricas de Sensores*. Recuperado de

http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/download/97/pdf

Iacono, L., Godoy, P., Marianetti, O., Garcia, C. & Parraga, C. (2012). *Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP*. Recuperado de http://www.um.edu.uy/docs/5_estudio_de_la_integracion_entre_WSN_redes%20TCP_IP.pdf

Ienergia (s.f). *Illuminación Pública*. Recuperado de <http://www.ienergia.cl/lighting-solutions/iluminacion-publica/>

Iluminet (2016). *San Diego en camino hacia la ciudad del futuro*. Recuperado de <http://www.iluminet.com/san-diego-ciudad-del-futuro-ge/>

Iluminet (2013). *La Iluminación Inteligente avanza hacia los controles independientes*. Recuperado de <http://www.iluminet.com/iluminacion-con-controles-independientes/>

Intheloop. (2016). *Ciudades Inteligentes y el futuro de la Urbanidad*. Recuperado de <http://www.intheloop.com.co/energia-electrica/ciudades-inteligentes-colombia/>

Linares, J. (2014). *Simulación e implementación de una red de sensores inalámbrica multisalto para la medición de consumo energético en un edificio*. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21161/memoria.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Lucaes (2009). *ZigBee development circuit (ETRX2 based)*. Recuperado de https://lucaes.files.wordpress.com/2009/11/documento_zigbe_develop.pdf

Lopez, M. (2012). *Implementación de un Protocolo de Encaminamiento Geográfico en una red de sensores inalámbricos*. Recuperado de <http://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/14732/PFC_Miriam_Lopez_Alvarez.pdf?sequence=1

Fabregas Bachs, M. (2016). *Diseño e implementación de una estación meteorológica de bajo coste con conectividad a Internet*. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/96723>

Olavo Da Paz Teixeira, J. (2015). *Una Red de Sensores para las Smart Cities*. Recuperado de http://eprints.ucm.es/34796/1/Memoria_Final_TFM_Jose_Teixeira.pdf

Palma, A. (2009). *Análisis de Protocolos de Enrutamiento para Redes de Sensores Inalámbricas*. Recuperado de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/8493/PFC_AntonioManuel_Palma_Gomez.pdf;jsessionid=F62988DBEAC094191763DEBE8EF510C2?sequence=1

Perez, J., Urdaneta, E. & Custodio, A. (2014). *Metodología para el Diseño de una red de sensores inalámbrico*. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/uct/v18n70/art02.pdf>

Querol, J. (2010). *Estudio y evaluación de prestaciones de redes inalámbricas de sensores*. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10354/Proyecto_Querol.pdf

Ramirez, C., Sanabria, R. & Suarez, M. (2011). *Integración de sensores inalámbricos y domótica*. Recuperado de http://repository.uniminuto.edu:8080/jspui/bitstream/10656/1785/1/TE_RamirezCarlosDaniel_2011.pdf

Redescontent (2012). *Redes de Sensores Inalámbricos WSN*. Recuperado de <http://redescontent.blogspot.pe/2012/07/redes-de-sensores-inalambricos-wsn.html>

- Rodriguez, A. (2008). *Desarrollo De Una Herramienta Para La Generación De Interfaces Gráficas Con Redes De Sensores Inalámbricas*. Recuperado de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/805/pfc2842.pdf?sequence=1>
- Schreder (2013). *Control Inteligente para una Iluminacion Ediciente*. Recuperado de <http://www.schreder.com/globalassets/sitecollectiondocuments/additional-content/schreder-owlet-sistemas-de-control.pdf>
- Sobretodoredes (s.f). *Modo Ad – Hoc*. Recuperado de <https://sobretodoredes.wordpress.com/redes-inalambricas/modos-de-operacion/modo-ad-hoc/>
- Studylib, (s.f). *Estándar 802.15.4*. Recuperado de <http://studylib.es/doc/367140/estandar-ieee-802.15.4>
- Villon Valdiviezo, D. (2009). *Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión*. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/266>
- Wirelessensorn (2012). *Redes de Sensores Inalámbricos*. Recuperado de <http://wirelessensorn.blogspot.pe/>
- Wikipedia. (s.f). *Alumbrado Público*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Alumbrado_p%C3%BAblico

Anexo A: Encuestas para validar la propuesta

1. ¿Cómo calificaría actualmente al servicio de alumbrado público brindado por parte de la empresa SEAL?
 Nada satisfecho
 Poco satisfecho
 Satisfecho
 Muy satisfecho
 Totalmente satisfecho
2. ¿Usted sabe qué medidas tomar en caso de cortos circuitos u otros problemas en los postes de alumbrado público?
 Si
 No
 Otro
3. ¿Sabía que la luz led ayuda a la lucha contra la delincuencia, por ejemplo, facilitando la identificación de rostros en personas en caso de existir algún robo en la residencial?
 Lo sabia
 Probablemente
 Otro
4. ¿Usted estaría dispuesto a pagar S/. 1.45 menos en su recibo por el servicio de alumbrado público?
 De acuerdo
 En desacuerdo

Otros

5. ¿Estaría de acuerdo con la implementación del presente proyecto teniendo en cuenta las mejoras de iluminación que genera?

De acuerdo

En desacuerdo

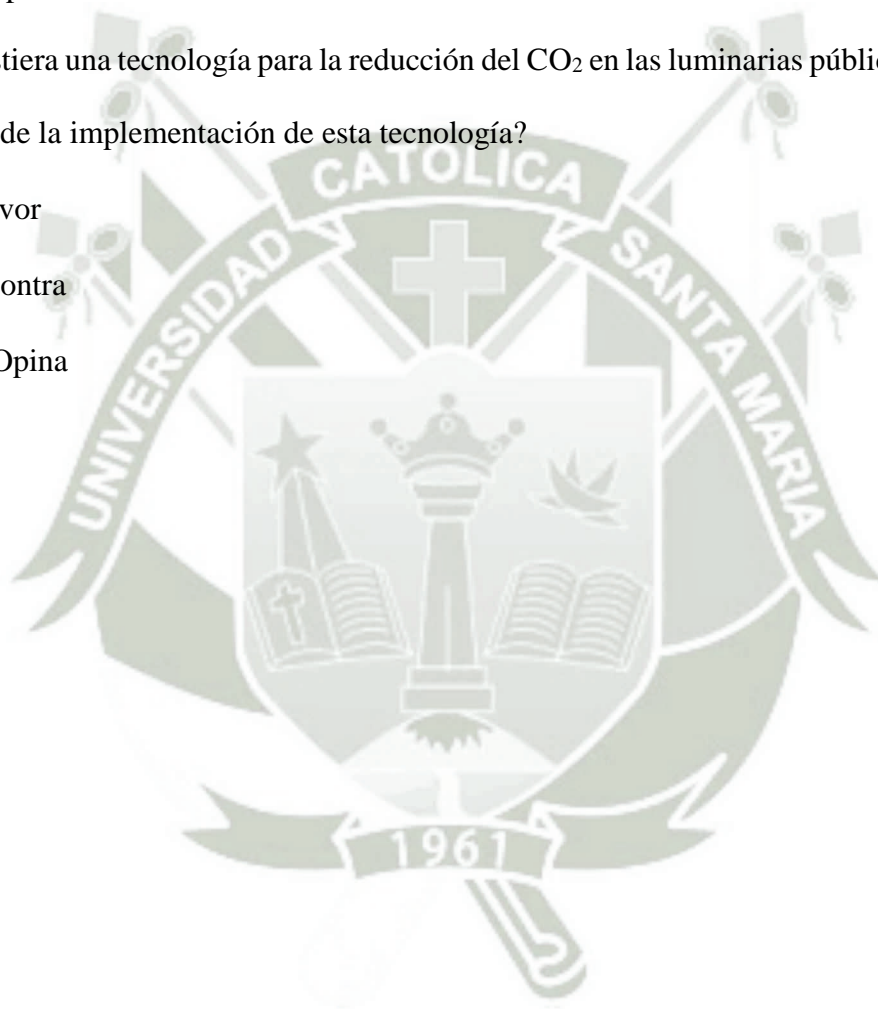
No opinan

6. ¿Si existiera una tecnología para la reducción del CO₂ en las luminarias públicas, Ud. estaría a favor de la implementación de esta tecnología?

A favor

En contra

No Opina



Anexo B: Glosario de Términos

A

- **Ad-hoc:** Configuración del equipo cliente que ofrece conectividad independiente entre dispositivos dentro de una red LAN inalámbrica. Como alternativa, los ordenadores se pueden comunicar entre sí a través de un punto de acceso.

B

- **Beacons;** Son paquetes de datos que envían los puntos de acceso para hacer funcionar una red, muy útiles para mandar el nombre de la red y otros dispositivos que quieran unirse a su red puedan encontrarla.
- **Broadcast:** En un medio compartido, transmisión cuyo destino es la totalidad de los dispositivos en alcance.

C

- **CDMA:** Code Division Multiple Access, técnica de acceso al medio que permite compartir una banda de frecuencias, que dispersa el ancho de banda de la señal combinándola con un código pseudo-random de mucha mayor frecuencia, utilizando códigos ortogonales.
- **Computación ubicua:** Computación Ubicua (ubicomp), es entendida como la integración de la informática en el entorno de la persona, de forma que los ordenadores no se perciban como objetos diferenciados.
- **CSMA:** Carrier Sense Multiple Access, protocolo de acceso al medio.

D

- **DHCP:** Del inglés Dynamic Host Configuration Protocol, o Protocolo de configuración dinámica de host. El DHCP es una utilidad que le permite a un servidor asignar de manera dinámica direcciones IP desde una lista predefinida y limitar el tiempo de uso de manera que se puedan volver a asignar.
- **Dirección IP:** Un número que identifica cada emisor o receptor de información enviada en Internet.
- **DNS:** Del inglés Domain Name System (Service o Server), también llamado Sistema (servicio o servidor) de nombres de dominio. El DNS es un programa que traduce los URL en direcciones IP ingresando a una base de datos ubicada en una serie de servidores Internet.
- **Domótica:** Se llama domótica al conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas.

E

- **Enrutador:** Punto de acceso o dispositivo que envía datos desde una red de área local (LAN) o red de área amplia (WAN) a otra. El enrutador monitorea y controla el flujo de datos, y envía información a través de la ruta más eficiente en función del tráfico, el costo, la velocidad, las conexiones, etc.
- **Estación Base:** Nodo recolector o sumidero de datos.

I

- **IEEE 802.15.4:** Este patrón fue propuesto, englobando una especificación de las capas de enlace y física con las siguientes características: conexión inalámbrica de corto alcance con baja tasa de transferencia y baja latencia, movilidad y bajo consumo de energía. Es clasificado como un patrón de red Wireless Personal Area Network (WPAN) y opera típicamente en el Espacio de Operación Personal (o POS - Personal Operating Space) de 10 metros y su tasa de transmisión varía entre 20 y 250 kb/s.
- **Infraestructura:** Modo de acceso que proporciona conexión a un punto de acceso. En comparación con el modo Ad-hoc, en el que los ordenadores se comunican directamente entre sí, los clientes configurados en el modo Infraestructura pasan datos a través de un punto de acceso central.
- **IP:** Del inglés Internet Protocol, o Protocolo de Internet. Tecnología que permite la transmisión de voz, datos y vídeo a través de Internet, redes WAN y LAN con conexión IP. Incluye, además VoIP (del inglés Voice over IP).

L

- **LEACH:** Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, protocolo de encaminamiento jerárquico por clústeres.
- **LQI:** Link Quality Indicator, indicador de la calidad de la señal recibida.

M

- **MAC:** Medium Access Layer, capa de acceso al medio, según el modelo de referencia OSI.

- **MHz** - un megahercio (MHz) equivale a 10 hercios (1 millón). no Se utiliza muy frecuentemente como unidad de medida de la frecuencia de trabajo de un dispositivo de algo, o bien como medida de ondas.
- **Mote:** Nodo sensor.
- **Multicast:** En un medio compartido, transmisión con destino de grupo.

P

- **PHY:** Physical Layer, capa física, según el modelo de referencia OSI.

Q

- **QoS:** QoS o Calidad de Servicio (Quality of Service, en inglés), es el rendimiento promedio de una red de telefonía o de computadoras, particularmente el rendimiento visto por los usuarios de la red. Cuantitativamente medir la calidad de servicio son considerados varios aspectos del servicio de red, tales como tasas de errores, ancho de banda, rendimiento, retraso en la transmisión, disponibilidad, etc.

R

- **Roaming:** La itinerancia (popularmente se usa el vocablo inglés roaming, que significa vagar, rondar) es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra.
- **RSSI:** Received Signal Strength Indicator, medida de la intensidad de la señal recibida.

S

- **SNR:** La relación señal/ruido (en inglés Signal to noise ratio SNR o S/N), se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este margen es medido en decibelios.
- **Smart Grids:** Sistemas modernos de distribución de la electricidad.
- **SPIN:** Sensor Protocols for Information via Negotiation, protocolo de disseminación centrado en datos.
- **Sumidero:** Nodo recolector de información.

T

- **TCP/IP:** Tecnología tras Internet y las comunicaciones entre ordenadores en una red.
- **TDMA:** La multiplexación por división de tiempo (Time Division Multiple Access o TDM) es una técnica que permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal (normalmente de gran capacidad) de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión. El Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es una de las técnicas de TDM más difundidas.

U

- **Unicast:** En un medio compartido, transmisión con destino único.

W

- **WAN:** Una red de área amplia, o WAN, por las siglas de (wide area network en inglés), es una red de computadoras que abarca varias ubicaciones físicas, proveyendo servicio a una zona, un país, incluso varios continentes. Es cualquier red que une varias redes

locales, llamadas LAN, por lo que sus miembros no están todos en una misma ubicación física.

- **Wi-Fi:** Del inglés Wireless Fidelity, o Fidelidad inalámbrica. Término creado por Wi-Fi Alliance que se utiliza para describir redes inalámbricas estándar tipo 802.11. Los productos que Wi-Fi Alliance haya probado y certificado como "Wi-Fi" pueden operar entre sí incluso si son de marca diferente.
- **WPAN:** Wireless Personal Area Network, red inalámbrica de área personal.
- **WSN:** Wireless Sensor Network, red inalámbrica de sensores.

